



**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**  
**Escola Nacional de Saúde Pública**



# **ESTUDO DA EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL A FORMALDEÍDO EM LABORATÓRIOS HOSPITALARES DE ANATOMIA PATOLÓGICA**

***Susana Patrícia Costa Viegas***

**Tese de Doutoramento em Saúde Pública  
na especialidade de Saúde Ambiental e Ocupacional**

Lisboa

2010



*Susana Patrícia Costa Viegas*

# **ESTUDO DA EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL A FORMALDEÍDO EM LABORATÓRIOS HOSPITALARES DE ANATOMIA PATOLÓGICA**

## **Orientação do trabalho:**

Doutor João Manuel Machado Prista e Silva  
Professor Associado  
Escola Nacional de Saúde Pública da Universidade de Lisboa

## **Comissão tutorial:**

Doutor João Manuel Machado Prista e Silva  
Professor Associado  
Escola Nacional de Saúde Pública da Universidade de Lisboa

Doutor António Neves Pires Souva Uva  
Professor Catedrático  
Escola Nacional de Saúde Pública da Universidade de Lisboa

Tese de candidatura ao grau de Doutor em  
Saúde Pública na Especialidade de Saúde  
Ambiental e Ocupacional pela  
Universidade Nova de Lisboa através da  
Escola Nacional de Saúde Pública

## **PALAVRAS DE APEÇO**

O presente projecto de investigação foi encarado por mim como um dos desafios mais importantes na minha vida profissional. Exigiu da minha parte dedicação total e apenas desta forma foi possível conciliar com as minhas responsabilidades profissionais.

Durante este processo várias pessoas foram importantes, em diferentes fases, e que sem o seu apoio não teria sido possível alcançar este desafio.

Assim, começo por agradecer o apoio, a dedicação, o incentivo e, sobretudo, a orientação científica que me foram concedidos por parte do meu orientador: o Prof. Doutor João Prista e Silva. Esteve presente em todas as fases deste projecto e, várias vezes, foram as suas palavras de incentivo que asseguraram a minha motivação durante todo o processo. Posso acrescentar, inclusivamente, que o maior ganho da realização deste projecto de investigação foi o facto de o conhecer e de poder aprender com os seus ensinamentos.

Agradeço, igualmente, à Prof. Doutora Olga Mayan pelo apoio concedido enquanto lhe foi possível desenvolver a actividade de orientadora.

Para a análise estatística dos dados pertencentes ao presente estudo pude contar com o apoio e orientação da Prof. Doutora Carla Nunes. A sua boa disposição e empenho tornaram esta tarefa mais fácil.

Igualmente, agradeço as palavras de apoio e incentivo cedidas pelo Prof. Doutor Florentino Serranheira que foram preciosas em várias fases do processo de elaboração da tese.

Não poderia deixar de agradecer à “Comunidade ESTeSL”, na pessoa do Prof. Coordenador Manuel Correia e da Prof. Coordenadora Paula Albuquerque, por criarem as condições que me permitiram abraçar este desafio e, no seio desta comunidade, agradecer em particular aos colegas com que tive a oportunidade de trabalhar, promovendo o desenvolvimento de relações profissionais mas também de grande amizade. Agradeço, por isso, o apoio técnico e científico da Mestre Carina Ladeira, do Prof. Doutor Mário Gomes, do Prof. Doutor Miguel Brito e da

Prof. Doutora Joana Malta-Vacas. Que este tenha sido o primeiro de muitos projectos de investigação desenvolvidos em conjunto.

Não poderia deixar de agradecer à Mestre Maria da Luz Antunes que me auxiliou constantemente na pesquisa “difícil” de alguns artigos científicos essenciais ao desenvolvimento deste estudo. Agradeço a atenção e paciência sempre demonstradas.

O período da minha vida envolvido na elaboração deste projecto significou muitas vezes o abdicar da companhia da minha família. Desta forma, não podia deixar de agradecer à “equipa” com que tenho a sorte de poder contar e que me proporcionou e que continua a proporcionar o ambiente e as condições para fazer o que mais gosto: APRENDER!

Assim, palavras de carinho e agradecimento vão para o meu marido (também pela paciência e dedicação), para a minha *grande* irmã, para o meu “mano” e, de grande reconhecimento pelo que já fizeram e continuam a fazer por mim,... para os meus pais. A esta “equipa” dedico, em forma de agradecimento, o presente projecto de investigação.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE QUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>RESUMÉ .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Aspectos gerais do formaldeído .....</b>	<b>6</b>
1.1 Características gerais.....	6
1.2 Presença no ambiente.....	7
1.3 Produção e aplicação .....	9
1.4 Influência na qualidade do ar interior .....	15
1.5 Exposição profissional .....	19
<b>2. Ciclo toxicológico e efeitos para a saúde .....</b>	<b>25</b>
2.1 Ciclo toxicológico.....	25
2.2 Efeitos para a saúde .....	30
2.2.1 Pele e mucosas .....	32
2.2.2 Aparelho respiratório .....	33
2.2.3 Toxicidade reprodutiva .....	34
2.2.4 Genotoxicidade .....	34
2.2.5 Carcinogenicidade .....	35
<b>3. Intervenção no âmbito da Saúde Ocupacional.....</b>	<b>41</b>
3.1 Estudo das situações de trabalho.....	41
3.2 Diagnóstico e avaliação do risco .....	48
3.3 Avaliação e vigilância da exposição profissional .....	53
3.4 Monitorização ambiental.....	54
3.5 Estudo da exposição profissional .....	56
3.5.1 Factores que influenciam a exposição .....	57
3.5.2 Metodologias de monitorização ambiental.....	58
3.5.3 Selecção das condições de medição .....	60
3.5.4 Estratégia de medição.....	60
3.5.5 Colheita de amostras e análise laboratorial .....	61
3.5.6 Medição ambiental por equipamentos de leitura directa.....	64
3.6 Monitorização biológica .....	67

3.7 Vigilância biológica vs vigilância ambiental .....	70
3.8 Substituição do formaldeído.....	71
<b>CAPÍTULO II. ESTUDO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>73</b>
<b>1. Metodologia.....</b>	<b>74</b>
1.1 Objectivos de investigação .....	74
1.2 Questões de investigação .....	75
1.3 População e amostra.....	76
1.4 Definição de variáveis .....	76
1.5 Recolha de dados .....	78
1.5.1 Avaliação ambiental do formaldeído.....	78
1.5.2 Avaliação da temperatura ambiente e da humidade relativa .....	85
1.5.3 Grelha de observação e registo .....	86
1.6 Metodologia de avaliação do risco.....	87
1.7 Processamento e análise dos dados .....	89
1.8 Considerações de natureza ética .....	90
<b>2. Resultados .....</b>	<b>91</b>
2.1 Constituição da amostra .....	91
2.2 Descrição das actividades observadas .....	91
2.3 Avaliação ambiental.....	98
2.3.1 Temperatura ambiente e humidade relativa .....	99
2.3.2 Método M1 .....	100
2.3.3 Método M2 .....	116
2.4 Avaliação do Risco .....	119
2.4.1 Aplicação da metodologia de avaliação do risco por laboratório .....	119
2.4.2 Resultados globais.....	123
<b>3. Discussão .....</b>	<b>125</b>
<b>4. Conclusões e perspectivas futuras .....</b>	<b>162</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>165</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>192</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>200</b>
Apêndice I - Grelha de Observação	
Apêndice II - Valores de CM corrigidos	
Apêndice III - Valores de concentração registados durante cada actividade	
Apêndice IV - Resultados da avaliação do risco	
<b>ANEXOS</b>	
Anexo I – Método NIOSH 2541	
Anexo II – Método NIOSH 3500	



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1: Classificação das variáveis seleccionadas para o estudo.....	78
Quadro 2.1: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabA.....	109
Quadro 2.2: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabB.....	110
Quadro 2.3: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabC.....	110
Quadro 2.4: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabD .....	111
Quadro 2.5: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabE.....	111
Quadro 2.6: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabF .....	112
Quadro 2.7: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabG .....	112
Quadro 2.8: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabH .....	113
Quadro 2.9: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabI .....	113
Quadro 2.10: Valores de CM* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabJ .....	113
Quadro 2.11: Resultados da CM* nos exames macroscópicos mais estudados .....	114
Quadro 2.12: Dados globais dos valores de CM* por grupo de exposição .....	115
Quadro 2.13: Resultados de CMP por laboratório e grupo de exposição .....	117
Quadro 2.14: Dados globais dos valores de CMP por grupo de exposição .....	118
Quadro 3.1: Resultados dos dois métodos de avaliação ambiental .....	127
Quadro 3.2: Resultados do ITR por laboratório .....	139
Quadro 3.3: Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório .....	142
Quadro 3.4: Resumo dos resultados das associações testadas.....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Características do formaldeído. ....	7
Figura 1.2: Reacções do radical HO* que originam formaldeído. ....	8
Figura 1.3: Acção de remoção do formaldeído por fotólise. ....	9
Figura 1.4: Produção e consumo de formaldeído (solução a 37%) em 2000. ....	11
Figura 1.5: Concentração de formaldeído em ambientes interiores (EUA). ....	17
Figura 1.6: Trabalhadores expostos a níveis de formaldeído < 0,1 ppm (UE, 1990-93). ....	20
Figura 1.7: Intervalo de concentração de formaldeído por área de actividade. ....	22
Figura 1.8: Estimativa de trabalhadores expostos a formaldeído por área de actividade. ....	23
Figura 2.1: Metabolismo do formaldeído. ....	27
Figura 2.2: Reacção do formaldeído com a glutathione. ....	27
Figura 2.3: Conversão da S-hidroxiemetilglutathione em S-formilglutathione. ....	28
Figura 2.4: Transformação da S-formilglutathione em glutathione e formiato. ....	28
Figura 2.5: Eliminação dos metabolitos. ....	30
Figura 2.6: Classificação do formaldeído por diferentes entidades. ....	36
Figura 2.7: Alguns estudos epidemiológicos indiciando a carcinogenicidade do formaldeído. ....	37
Figura 2.8: Alguns estudos epidemiológicos indiciando a carcinogenicidade do formaldeído (leucemia). ....	39
Figura 3.1: Categorização da gravidade dos efeitos. ....	51
Figura 3.2: Categorização da frequência dos efeitos. ....	51
Figura 3.3: Categorização da probabilidade de ocorrência. ....	51
Figura 3.4: Categorização do escalonamento de medidas preventivas. ....	52
Figura 3.5: Valores máximos admissíveis para o formaldeído. ....	56
Figura 3.6: Tipos de dados e a sua aproximação da exposição real. ....	59
Figura 3.7: Tubos rectos com material adsorvente. ....	62
Figura 3.8: Frascos lavadores ( <i>impingers</i> ). ....	63
Figura 3.9: Bombas de amostragem eléctricas. ....	63
Figura 1.1. Esquema do desenvolvimento da recolha de informação. ....	79
Figura 1.2: Equipamento utilizado no método M1. ....	80
Figura 1.3: Bombas de amostragem utilizadas no método M2. ....	83
Figura 1.4: Categorização da gravidade dos efeitos (por actividade). ....	88
Figura 1.5: Categorização da probabilidade de ocorrência (por actividade). ....	88

Figura 1.6: Categorização do escalonamento de medidas preventivas (por actividade). .....	89
Figura 2.1: Distribuição das unidades hospitalares (Público vs Privado). .....	91
Figura 2.2: Número de actividades estudadas por laboratório.....	96
Figura 2.3: Número de medições por actividade estudada. ....	97
Figura 2.4: Número médio de peças processadas por dia em cada laboratório. ....	97
Figura 2.5: Distribuição das condições de ventilação na amostra estudada.....	98
Figura 2.6: Resultados da temperatura ambiente (°C) por laboratório. ....	99
Figura 2.7: Resultados da humidade relativa (%) por laboratório.....	100
Figura 2.8: Valores mais elevados de CM* obtidos por laboratório. ....	101
Figura 2.9: Distribuição dos valores da CM* nas actividades estudadas. ....	101
Figura 2.10: Distribuição dos valores das CM* nos exames macroscópicos.....	102
Figura 2.11: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabA. ....	103
Figura 2.12: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabB. ....	103
Figura 2.13: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabC. ....	104
Figura 2.14: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabE. ....	104
Figura 2.15: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabF. ....	105
Figura 2.16: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabG.....	105
Figura 2.17: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabH. ....	106
Figura 2.18: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabI. ....	107
Figura 2.19: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabJ. ....	107
Figura 2.20: Distribuição dos valores da concentração (%) obtidos por laboratório. ....	108
Figura 2.21: Valores mais elevados de CM* por grupo de exposição. ....	116
Figura 2.22: Valores de CMP mais elevados por laboratório.....	118
Figura 2.23: Valores de CMP por grupo de exposição em cada laboratório. ....	119
Figura 2.24: Resultados da avaliação do risco no LabA. ....	120
Figura 2.25: Resultados da avaliação do risco no LabB. ....	120
Figura 2.26: Resultados da avaliação do risco no LabC. ....	121
Figura 2.27: Resultados da avaliação do risco no LabD.....	121
Figura 2.28: Resultados da avaliação do risco no LabG.....	122
Figura 2.29: Resultados da avaliação do risco no LabH.....	122
Figura 2.30: Resultados da avaliação do risco no LabJ.....	123
Figura 2.31: Resultados da avaliação do risco nas actividades estudadas.....	124
Figura 2.32: Resultados da avaliação do risco na actividade mais estudada (exame macroscópico).....	124
Figura 2.33: Distribuição dos níveis de risco por laboratório. ....	125
Figura 3.1: Distribuição dos valores de CM obtidos. ....	128

Figura 3.2: Resultados do ITR por laboratório. ....	140
Figura 3.3: Valores de concentração registados durante EM peça indeterminada (175 seg.). ....	140
Figura 3.4: Valores de concentração registados durante EM útero (79 seg.). ....	141
Figura 3.5: Valores de concentração registados durante EM ovários (782 seg.). .	141
Figura 3.6: Valores de concentração registados durante EM peça indeterminada (233 seg.). ....	141
Figura 3.7: Valores de concentração registados durante EM encéfalo (100 seg.).	142
Figura 3.8: Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório. .....	143
Figura 3.9: Relação entre a Humidade Relativa e a CMP (Médicos).....	145
Figura 3.10: Relação entre a Humidade Relativa e a CMP (Técnicos). ....	145
Figura 3.11: Relação entre o número médio de peças processadas e o valor médio das concentrações > 0,3 ppm. ....	146
Figura 3.12: Relação entre o número médio de peças processadas por dia e o ITR. .....	147
Figura 3.13: Método M1: resultados da aplicação dos factores de correcção. ....	150
Figura 3.14: Amostrador estacionário do método NIOSH 3500. ....	152
Figura 3.15: Resultados globais da avaliação do risco. ....	157

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACGIH</b>	American Conference of Industrial Hygienists
<b>Aux</b>	Auxiliares
<b>CE</b>	Comunidade Europeia
<b>CM</b>	Concentração Máxima
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>CMP</b>	Concentração Média Ponderada
<b>DFG</b>	German Research Foundation
<b>DNA</b>	Ácido Desoxirribonucleico
<b>EM</b>	Exame Macroscópico
<b>EN</b>	European Norm
<b>EPA</b>	United States Environment Protection Agency
<b>FA</b>	Formaldeído
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde Brasileira
<b>HSE</b>	Health and Safety Executive
<b>IARC</b>	International Agency for Research on Cancer
<b>INRS</b>	Institut National de Recherche et de Sécurité
<b>IPCS</b>	International Programme on Chemical Safety
<b>ITR</b>	Índice do Tempo de Regeneração
<b>Lab</b>	Laboratório
<b>MAK</b>	Maximale Arbeitsplatz Konzentration

<b>MAP</b>	Médicos Anátomo-Patologistas
<b>MDHS</b>	Methods for the Determination of Hazardous Substances
<b>M1</b>	Método 1 – Referente ao método NIOSH 2541
<b>M2</b>	Método 2 – Referente ao método de medição por equipamento de leitura directa
<b>NIOSH</b>	National Institute of Occupational Safety and Health
<b>NM</b>	Não medido
<b>NOAEL</b>	No Observed Effect Level
<b>NP</b>	Norma Portuguesa
<b>n.s.</b>	Não significativa
<b>NTP</b>	United States National Toxicology Program
<b>OEL</b>	Occupational Exposure Limits
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>PID</b>	Photo Ionization Detection
<b>ppm</b>	Partes por milhão
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
<b>TAP</b>	Técnicos de Anatomia Patológica
<b>TLV - TWA</b>	Threshold Limit Value – Time Weighted Average
<b>TLV - C</b>	Threshold Limit Value – Ceiling
<b>TLV - STEL</b>	Threshold Limit Value – Short Term Exposure Level
<b>TMN</b>	Teste de Micronúcleos
<b>VLE - CD</b>	Valor limite de exposição – Curta Duração
<b>VLE - CM</b>	Valor limite de exposição – Concentração máxima

**VLE - MP**

Valor limite de exposição – Média Ponderada

**VM>0,3**

Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório

**WHO**

World Health Organization

$\geq$

Maior ou igual a

$>$

Maior que

$<$

Menor que

$\leq$

Menor ou igual a

## RESUMO

A exposição a formaldeído é reconhecidamente um dos mais importantes factores de risco presente nos laboratórios hospitalares de anatomia patológica. Neste contexto ocupacional, o formaldeído é utilizado em solução, designada comumente por formol. Trata-se de uma solução comercial de formaldeído, normalmente diluída a 10%, sendo pouco onerosa e, por esse motivo, a eleita para os trabalhos de rotina em anatomia patológica. A solução é utilizada como fixador e conservante do material biológico, pelo que as peças anatómicas a serem processadas são previamente impregnadas.

No que concerne aos efeitos para a saúde do formaldeído, os efeitos locais parecem apresentar um papel mais importante comparativamente com os efeitos sistémicos, devido à sua reactividade e rápido metabolismo nas células da pele, tracto gastrointestinal e pulmões. Da mesma forma, a localização das lesões correspondem principalmente às zonas expostas às doses mais elevadas deste agente químico, ou seja, o desenvolvimento dos efeitos tóxicos dependerá mais da intensidade da dose externa do que da duração da exposição.

O efeito do formaldeído no organismo humano mais facilmente detectável é a acção irritante, transitória e reversível sobre as mucosas dos olhos e aparelho respiratório superior (naso e orofaringe), o que acontece em geral para exposições frequentes e superiores a 1 ppm. Doses elevadas são citotóxicas e podem conduzir a degenerescência e necrose das mucosas e epitélios.

No que concerne aos efeitos cancerígenos, a primeira avaliação efectuada pela *International Agency for Research on Cancer* data de 1981, actualizada em 1982, 1987, 1995 e 2004, considerando-o como um agente cancerígeno do grupo 2A (provavelmente carcinogénico). No entanto, a mais recente avaliação, em 2006, considera o formaldeído no Grupo 1 (agente carcinogénico) com base na evidência de que a exposição a este agente é susceptível de causar cancro nasofaríngeo em humanos.

Constituiu objectivo principal deste estudo caracterizar a exposição profissional a formaldeído nos laboratórios hospitalares de anatomia patológica Portugueses. Pretendeu-se, ainda, descrever os fenómenos ambientais da contaminação ambiental por formaldeído e explorar eventuais associações entre variáveis.

Considerou-se uma amostra de 10 laboratórios hospitalares de anatomia patológica, avaliada a exposição dos três grupos profissionais por comparação com



os dois referenciais de exposição e, ainda, conhecidos os valores de concentração máxima em 83 actividades.

Foram aplicados simultaneamente dois métodos distintos de avaliação ambiental: um dos métodos (Método 1) fez uso de um equipamento de leitura directa com o princípio de medição por *Photo Ionization Detection*, com uma lâmpada de 11,7 eV e, simultaneamente, realizou-se o registo da actividade. Este método disponibilizou dados para o referencial de exposição da concentração máxima; o outro método (Método 2) traduziu-se na aplicação do método NIOSH 2541, implicando o uso de bombas de amostragem eléctricas de baixo caudal e posterior processamento analítico das amostras por cromatografia gasosa. Este método, por sua vez, facultou dados para o referencial de exposição da concentração média ponderada.

As estratégias de medição de cada um dos métodos e a definição dos grupos de exposição existentes neste contexto ocupacional, designadamente os Técnicos de Anatomia Patológica, os Médicos Anatomo-Patologistas e os Auxiliares, foram possíveis através da informação disponibilizada pelas técnicas de observação da actividade da análise (ergonómica) do trabalho.

Estudaram-se diversas variáveis independentes, nomeadamente a temperatura ambiente e a humidade relativa, a solução de formaldeído utilizada, as condições de ventilação existentes e o número médio de peças processadas por dia em cada laboratório. Para a recolha de informação sobre estas variáveis foi preenchida, durante a permanência nos laboratórios estudados, uma Grelha de Observação e Registo.

Como variáveis dependentes seleccionaram-se três indicadores de contaminação ambiental, designadamente o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm em cada laboratório, a Concentração Média Ponderada obtida para cada grupo de exposição e o Índice do Tempo de Regeneração de cada laboratório. Os indicadores foram calculados e definidos através dos dados obtidos pelos dois métodos de avaliação ambiental aplicados.

Baseada no delineado pela Universidade de Queensland, foi ainda aplicada uma metodologia de avaliação do risco de cancro nasofaríngeo nas 83 actividades estudadas de modo a definir níveis semi-quantitativos de estimação do risco. Para o nível de Gravidade considerou-se a informação disponível em literatura científica que define eventos biológicos adversos, relacionados com o modo de acção do agente químico e os associa com concentrações ambientais de formaldeído. Para o nível da Probabilidade utilizou-se a informação disponibilizada pela análise (ergonómica) de trabalho que permitiu conhecer a frequência de realização de cada uma das actividades estudadas.

A aplicação simultânea dos dois métodos de avaliação ambiental resultou na obtenção de resultados distintos, mas não contraditórios, no que concerne à avaliação da exposição profissional a formaldeído. Para as actividades estudadas ( $n=83$ ) verificou-se que cerca de 93% dos valores são superiores ao valor limite de exposição definido para a concentração máxima ( $VLE-CM=0,3$  ppm). O “exame macroscópico” foi a actividade mais estudada e onde se verificou a maior prevalência de resultados superiores ao valor limite (92,8%). O valor médio mais elevado da concentração máxima (2,04 ppm) verificou-se no grupo de exposição dos Técnicos de Anatomia Patológica. No entanto, a maior amplitude de resultados observou-se no grupo dos Médicos Anatomo-Patologistas (0,21 ppm a 5,02 ppm).

No que respeita ao referencial da Concentração Média Ponderada, todos os valores obtidos nos 10 laboratórios estudados para os três grupos de exposição foram inferiores ao valor limite de exposição definido pela *Occupational Safety and Health Administration* ( $TLV-TWA=0,75$  ppm).

Verificou-se associação estatisticamente significativa entre o número médio de peças processadas por laboratório e dois dos três indicadores de contaminação ambiental utilizados, designadamente o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm ( $p=0,009$ ) e o Índice do Tempo de Regeneração ( $p=0,001$ ).

Relativamente à temperatura ambiente não se observou associação estatisticamente significativa com nenhum dos indicadores de contaminação ambiental utilizados. A humidade relativa apresentou uma associação estatisticamente significativa apenas com o indicador de contaminação ambiental da Concentração Média Ponderada de dois grupos de exposição, nomeadamente com os Médicos Anatomo-Patologistas ( $p=0,02$ ) e os Técnicos de Anatomia Patológica ( $p=0,04$ ).

A aplicação da metodologia de avaliação do risco nas 83 actividades estudadas permitiu verificar que, em cerca de dois terços (35%), o risco foi classificado como (pelo menos) elevado e, ainda, constatar que 70% dos laboratórios apresentou pelo menos 1 actividade com a classificação de risco elevado.

Da aplicação dos dois métodos de avaliação ambiental e das informações obtidas para os dois referenciais de exposição pode concluir-se que o referencial mais adequado é a Concentração Máxima por estar associado ao modo de actuação do agente químico. Acresce, ainda, que um método de avaliação ambiental, como o Método 1, que permite o estudo das concentrações de formaldeído e simultaneamente a realização do registo da actividade, disponibiliza informações pertinentes para a intervenção preventiva da exposição por permitir identificar as

actividades com a exposição mais elevada, bem como as variáveis que a condicionam.

As peças anatómicas apresentaram-se como a principal fonte de contaminação ambiental por formaldeído neste contexto ocupacional. Aspecto de particular interesse, na medida que a actividade desenvolvida neste contexto ocupacional e, em particular na sala de entradas, é centrada no processamento das peças anatómicas.

Dado não se perspectivar a curto prazo a eliminação do formaldeído, devido ao grande número de actividades que envolvem ainda a utilização da sua solução comercial (formol), pode concluir-se que a exposição a este agente neste contexto ocupacional específico é preocupante, carecendo de uma intervenção rápida com o objectivo de minimizar a exposição e prevenir os potenciais efeitos para a saúde dos trabalhadores expostos.

**Palavras-Chave:** formaldeído, exposição profissional, laboratórios hospitalares de anatomia patológica, métodos de avaliação ambiental, referenciais de exposição, contaminação ambiental, avaliação do risco.

## **ABSTRACT**

Exposure to formaldehyde is recognized as one of the most important risk factors present in anatomy and pathology laboratories from hospital settings. In this occupational setting, formaldehyde is used in solution, typically diluted to 10%, and is an inexpensive product. Because of that, is used in routine work in anatomy and pathology laboratories. The solution is applied as a fixative and preservative of biological material.

Regarding formaldehyde health effects, local effects appear to have a more important role compared with systemic effects, due to his reactivity and rapid metabolism in skin, gastrointestinal tract and lungs cells. Likewise, lesions location correspond mainly to areas exposed to higher doses and toxic effects development depend more on external dose intensity than exposure duration. Human body formaldehyde effect more easily detectable is the irritating action, transient and reversible on eyes and upper respiratory tract (nasal and throat) membranes, which happen in general for frequent exposure to concentrations higher than 1 ppm. High doses are cytotoxic and can lead to degeneration, and also to mucous membranes and epithelia necrosis.

With regard to carcinogenic effects, first assessment performed by International Agency for Research on Cancer in 1981, updated in 1982, 1987, 1995 and 2004, classified formaldehyde in Group 2A (probably carcinogenic). However, most recent evaluation in 2006, classifies formaldehyde carcinogenic (Group 1), based on evidence that exposure to this agent is likely to cause nasopharyngeal cancer in humans.

This study principal objective was to characterize occupational exposure to formaldehyde in anatomy and pathology hospital laboratories, as well to describe formaldehyde environmental contamination phenomena and explore possible associations between variables.

It was considered a sample of 10 hospital pathology laboratories, assessed exposure of three professional groups for comparison with two exposure metrics, and also knows ceiling concentrations in 83 activities.

Were applied, simultaneously, two different environmental assessment methods: one method (Method 1) using direct reading equipment that perform measure by Photo Ionization Detection, with 11,7 eV lamps and, simultaneously, make activity description and film. This method provided data for ceiling concentrations for each activity study (TLV-C). In the other applied method

(Method 2), air sampling and formaldehyde analysis were performed according to NIOSH method (2541). This method provided data average exposure concentration (TLV-TWA).

Measuring and sampling strategies of each methods and exposure groups definition (Technicians, Pathologists and Assistants) was possible by information provided by activities (ergonomic) analysis.

Several independent variables were studied, including temperature and relative humidity, formaldehyde solution used, ventilation conditions, and also anatomic pieces mean value processed per day in each laboratory. To register information about these variables was completed an Observation and Registration Grid.

Three environmental contamination indicators were selected as dependent variables namely: mean value from concentrations exceeding 0,3 ppm in each laboratory, weighted average concentration obtained for each exposure group, as well each laboratory Time Regeneration Index. These indicators were calculated and determined through data obtained by the two environmental assessment methods. Based on Queensland University proposal, was also applied a methodology for assessing nasopharyngeal cancer risk in 83 activities studied in order to obtain risk levels (semi-quantitative estimation). For Severity level was considered available information in scientific literature that defines biological adverse events related to the chemical agent action mode, and associated with environment formaldehyde concentrations. For Probability level was used information provided by (ergonomic) work analysis that helped identifies activity frequency. Environmental assessment methods provide different results, but not contradictory, regarding formaldehyde occupational exposure evaluation. In the studied activities (n=83), about 93% of the values were above exposure limit value set for ceiling concentration in Portugal (VLE-CM = 0,3 ppm). "Macroscopic exam" was the most studied activity, and obtained the higher prevalence of results superior than 0,3 ppm (92,8%). The highest ceiling concentration mean value (2,04 ppm) was obtain in Technicians exposure group, but a result wider range was observed in Pathologists group (0,21 ppm to 5,02 ppm).

Concerning Method 2, results from the three exposure groups, were all lower than limit value set by Occupational Safety and Health Administration (TLV-TWA=0,75ppm).

There was a statistically significant association between anatomic pieces mean value processed by each laboratory per day, and two of the three environmental contamination indicators used, namely average concentrations exceeding 0,3 ppm ( $p=0,009$ ) and Time Regeneration Index ( $p=0,001$ ).

Temperature was not statistically associated with any environmental contamination used indicators. Relative humidity had a statistically significant association only with one environmental contamination indicator, namely weighted average concentration, particularly with Pathologists group ( $p=0,02$ ) and Technicians group ( $p=0,04$ ).

Risk assessment performed in the 83 studied activities showed that around two thirds (35%) were classified as (at least) high, and also noted that 70% of laboratories had at least 1 activity with high risk rating.

The two environmental assessment methods application, as well information obtained from two exposure metrics, allowed to conclude that most appropriate exposure metric is ceiling concentration, because is associated with formaldehyde action mode. Moreover, an environmental method, like Method 1, which allows study formaldehyde concentrations and relates them with activity, provides relevant information for preventive information, since identifies the activity with higher exposure, as well variables that promote exposure.

Anatomic pieces represent formaldehyde contamination main source in this occupational setting, and this is of particular interest because all activities are focused on anatomic pieces processing.

Since there is no prospect, in short term, for formaldehyde use elimination due to large number of activities that still involve solution use, it can be concluded that exposure to this agent, in this particular occupational setting, is preoccupant, requiring an rapid intervention in order to minimize exposure and prevent potential health effects in exposed workers.

**Keywords:** formaldehyde, occupational exposure, anatomy and pathology laboratories, environmental assessment methods, exposure metrics, risk assessment.

## RESUMÉ

L'exposition au formaldéhyde est reconnue comme l'un des principaux facteurs de risque présents dans les laboratoires hospitaliers de pathologie. Dans ce contexte, le formaldéhyde est utilisé au travail dans une solution, connue communément par le formol. Il s'agit d'une solution commerciale de formaldéhyde, généralement diluée à 10% et est peu coûteuse et, pour cette raison, élue au travail de routine en pathologie. La solution est utilisée comme fixateur et agent de conservation de matériel biologique, de sorte que les parties anatomiques à traiter sont pré-imprégnées.

En ce qui concerne les effets sur la santé du formaldéhyde, les effets locaux semblent assurer un rôle plus important par rapport aux effets systémiques en raison de leur réactivité et leur métabolisme rapide dans les cellules de la peau, tube digestif et les poumons. De même, la localisation des lésions correspond essentiellement aux zones exposées à des doses plus élevées de cet agent chimique, ça veut dire, le développement des effets toxiques dépend de plus de l'intensité de la dose externe que de la durée d'exposition.

L'effet du formaldéhyde sur le corps humain plus facilement détectable est l'action irritante, transitoire et réversible sur les muqueuses des yeux et des voies respiratoires supérieures (nez et gorge), ce qui se passe en général pour des expositions fréquentes et de plus de 1 ppm. Des doses élevées sont cytotoxiques et peuvent conduire à une dégénérescence et à une nécrose des muqueuses et des épithéliums.

En ce qui concerne les effets cancérogènes, la première évaluation du formaldéhyde par le Centre International de Recherche sur le Cancer à 1981, mise à jour en 1982, 1987, 1995 et 2004, le considérait comme un cancérogène du groupe 2A (probablement cancérogène). Toutefois, l'évaluation la plus récente, de 2006, estime le formaldéhyde dans le groupe 1 (cancérogène) basée sur des preuves que l'exposition à cet agent est susceptible de causer le cancer du rhinopharynx chez l'homme.

L'objectif principal de cette étude est de caractériser l'exposition professionnelle au formaldéhyde dans les laboratoires de pathologie des hôpitaux portugais. On a voulu également de décrire les phénomènes de contamination de l'environnement avec le formaldéhyde et d'explorer les liens possibles entre les variables.

On a considéré un échantillon de 10 laboratoires hospitaliers de pathologie, on a évalué l'exposition des trois groupes professionnels pour comparaison avec les deux repères de l'exposition et connus également les valeurs de concentration maximale dans 83 activités.

On a appliqué simultanément deux méthodes différentes d'évaluation environnementale: l'une des méthodes (méthode 1) fait l'usage d'un appareil à lecture directe avec le principe de mesure Photo de Détection par l'Ionisation, avec une lampe à 11,7 eV, enregistrant simultanément l'activité d'enregistrement. Cette méthode a fourni des données pour la référence de la concentration maximale d'exposition. L'autre méthode (méthode 2) a fait la mise en œuvre de la méthode NIOSH 2541, impliquant l'utilisation de pompes électriques pour l'échantillonnage à faible débit et après le traitement analytique des échantillons par chromatographie en phase gazeuse. Cette méthode, à son tour, a fourni des données pour la concentration de référence d'exposition moyenne pondérée.

Les stratégies pour la mesure de chacune des méthodes et la définition des groupes d'exposition dans ce milieu professionnel, tels que les techniques de pathologie, les médecins anatomo-pathologie et le personnel auxiliaire, ont été possible grâce à l'information fournie par les techniques d'observation de l'activité de l'analyse (ergonomie) du travail.

On a étudié plusieurs variables indépendantes, notamment la température ambiante et l'humidité, la solution de formaldéhyde utilisée, les conditions de ventilation existantes et le nombre moyen de pièces traitées chaque jour dans chaque laboratoire. Pour recueillir l'information sur ces variables on a rempli une note Grid et d'enregistrement pendant la permanence aux laboratoires étudiés.

Comme variables dépendantes on a sélectionné trois indicateurs de la contamination environnementale, y compris les concentrations moyenne supérieure à 0,3 ppm dans chaque laboratoire, la concentration moyenne pondérée obtenue pour chaque groupe d'exposition et de l'indice des temps de régénération de chaque laboratoire. Les indicateurs ont été calculés et déterminés sur les données obtenues à partir des deux méthodes d'évaluation environnementale appliquées.

Suivant la référence de l'Université du Queensland on a également appliqué une méthodologie pour évaluer le risque de cancer du rhinopharynx dans 83 activités étudiées afin de déterminer les niveaux de l'estimation semi-quantitative du risque. Pour le niveau de la sévérité on a examiné les informations disponibles dans la littérature scientifique, laquelle définit des événements biologiques indésirables liés au mode d'action des agents chimiques et qui sont associés aux concentrations ambiantales de formaldéhyde. Pour le niveau de la probabilité on a



utilisé l'information obtenue par l'analyse (ergonomie) du travail, laquelle nous a permis d'identifier la fréquence de chacune des activités étudiées.

L'application simultanée des deux méthodes d'évaluation environnementale nous a permis d'obtenir des résultats différents, mais non contradictoires, concernant l'évaluation de l'exposition professionnelle au formaldéhyde. Pour les activités étudiées (n = 83) on a constaté que l'environ de 93% des valeurs sont supérieures à la valeur limite d'exposition fixée pour la concentration maximale (VLE-CM = 0,3 ppm). L'examen «macroscopique» a été l'activité la plus étudiée et où il y avait une plus grande prévalence de résultats supérieurs que la valeur limite (92,8%). On a constaté la plus haute valeur moyenne de la concentration maximale (2,04 ppm) dans le groupe d'exposition des techniciens de pathologie, mais le plus large éventail de résultats observés s'est situé au groupe de médecins anatomo-pathologie (0,21 ppm 5,02 ppm).

En ce qui concerne la référence de toutes les valeurs de concentration moyenne pondérée, les valeurs des 10 laboratoires étudiés aux trois groupes d'exposition étaient inférieurs au limite d'exposition fixée par la sécurité et la santé de l'*Occupational Safety and Health Administration* (TLV-TWA = 0,75 ppm).

On a constaté une association statistiquement significative entre le nombre moyen de pièces processées par le laboratoire et deux sur trois des indicateurs de la contamination environnementale utilisée, en particulier les concentrations moyennes de plus de 0,3 ppm ( $p = 0,009$ ) et temps de régénération Index ( $p = 0,001$ ).

Pour la température on n'a pas observé une association statistiquement significative avec aucun des indicateurs utilisés pour la contamination environnementale. L'humidité relative a présenté une association statistiquement significative seulement avec l'indicateur de la contamination environnementale de la concentration moyenne pondérée des deux groupes d'exposition, en particulier avec les médecins de l'anatomo-pathologie ( $p = 0,02$ ) et les techniciens ( $p = 0,04$ ).

L'application de la méthodologie d'évaluation des risques dans les 83 activités étudiées a montré qu'à peu près sur deux tiers (35%) le risque a été classifié comme (au moins) élevé et a également noté que 70% des laboratoires ont eu du moins 1 activité avec la classification de risque élevé.

À partir de l'application de deux méthodes d'évaluation environnementale et des renseignements obtenus pour les deux référentiels d'exposition on peut conclure que le référentiel le plus adéqué est celui de la concentration maximale pour être associé au mode d'action de l'agent chimique. En outre, une méthode d'évaluation environnementale, comme la méthode 1, qui permet l'étude des

concentrations de formaldéhyde et d'enregistrer simultanément l'achèvement de l'activité, fournit des informations pertinentes pour l'intervention préventive en cas d'exposition et d'identifier les activités à l'exposition supérieur, de même que les variables qui en conditionnent.

Les pièces anatomiques se sont présentées comme la principale source de contamination environnementale par le formaldéhyde dans le milieu professionnel. Il s'agit d'un sujet de particulier intérêt pour que, dans ce milieu professionnel et en particulier dans le hall, les activités se concentrent sur le traitement des pièces anatomiques.

On n'a pas de perspectives, à court terme, pour l'élimination du formaldéhyde en raison du grand nombre d'activités qui impliquent également l'utilisation de cette solution (formaldéhyde); on peut, donc, conclure que l'exposition à cet agent dans ce contexte particulier du travail est une préoccupation et qui a besoin d'une intervention rapide afin de minimiser l'exposition et de prévenir les effets potentiels sur la santé des travailleurs exposés.

**Mots-clés:** formaldéhyde, exposition professionnelle, laboratoires hospitaliers d'anatomie pathologique, méthodes d'évaluation de l'environnement, référentiels d'exposition, contamination environnementale, évaluation du risque.

## INTRODUÇÃO

De entre o considerável número e grande diversidade de elementos condicionantes da saúde existentes num ambiente de trabalho, as substâncias químicas apresentam o mais extenso grupo de factores de risco de natureza profissional (*Prista e Uva, 2002*).

Existem cerca de 80.000 produtos químicos disponíveis para comercialização no mundo e, em média, 2.000 novos produtos são introduzidos todos os anos no mercado (*Van Leeuwen, Vermeire e Vermeire, 2007*). Segundo a Organização Mundial de Saúde, serão mais de 100.000 as substâncias químicas susceptíveis de constituir risco para a saúde. Destas, mais de 3.000 têm propriedades alergénicas e 200 a 300 têm acção mutagénica e cancerígena como, por exemplo o formaldeído (*Prista e Uva, 2002*).

É um agente químico empregue em várias actividades industriais, designadamente na produção de fertilizantes, papel, madeira compensada e, com particular dimensão, na produção de diversos tipos de resinas. É igualmente utilizado no fabrico de açúcar e cosméticos, na agricultura como conservante de grãos e sementes e na produção de fertilizantes, na indústria da borracha na produção de látex, na preservação da madeira e na produção de filmes fotográficos (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Devido às suas características físico-químicas, o formaldeído tem vindo a ser empregue como conservante e desinfectante, salientando-se a sua utilização como fluído para embalsamação de cadáveres e igualmente na conservação e fixação de tecidos em hospitais e laboratórios (*Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

Em 1999, a produção global deste agente químico foi estimada em 6 milhões de toneladas (considerando os continentes Americano, Asiático e Europeu). Na Suíça, por exemplo, e de acordo com o Registo de Produtos Suíços e Alemães, existem cerca de 4.000 produtos que contêm formaldeído na sua composição (*International Programme on Chemical Safety, 1991*).

No Canadá, aproximadamente 92% do consumo do formaldeído é destinado à produção de resinas e na síntese de outros produtos químicos. No mesmo país, a produção de fertilizantes e a utilização como desinfectante representa, respectivamente, 6% e 2% em matéria de consumo (*Goyer, Bégin e Beaudry, 2006*). Em França, na década de 90, o consumo anual de formaldeído rondava as 100.000 toneladas (*Vincent e Jeandel, 2006*).

É, portanto, vasta a utilização desta substância, tal ficando a dever-se, essencialmente, à sua elevada reactividade, ausência de cor, à sua pureza no formato comercial e ainda, obviamente, ao seu baixo custo (*International Agency for Research on Cancer, 2006; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*).

O efeito para a saúde, atribuído ao formaldeído, mais facilmente detectável reside na acção irritante sobre as mucosas dos olhos e aparelho respiratório superior quando ocorre a exposição aos seus vapores (*International Agency for Research on Cancer, 2006*). Os sintomas mais comuns incluem irritação do nariz e garganta e o aumento do lacrimejar, podendo verificar-se a concentrações entre 0,4 e 3 ppm (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

O contacto directo com soluções de formaldeído a concentrações de 1%-2% pode causar irritações da pele em alguns indivíduos. De uma forma geral, soluções com concentrações entre 5% e 25% são irritantes e superiores a 25% são corrosivas (*International Agency for Research on Cancer, 2006*). As exposições de longa duração podem, ainda ao nível da pele, conduzir a dermatoses alérgicas por contacto (*International Programme on Chemical Safety, 1991*).

No que concerne aos efeitos cancerígenos, estes foram tornados públicos pela primeira vez pelo *Chemical Industry Institute of Toxicology* (CIIT), dos Estados Unidos, em 1978, relatando o desenvolvimento de cancro nasal em ratos laboratorialmente expostos a esta substância (*Cogliano, Grosse e Baan, 2005*). A primeira avaliação conduzida pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC) foi em 1981, com uma actualização em 1982, 1987 e 1995 e 2004, integrando o formaldeído no Grupo 2A (provavelmente carcinogénico). A mais recente avaliação, em 2006, passou a considerar o formaldeído no Grupo 1 (agente carcinogénico) com base na evidência de que a exposição é causa de cancro nasofaríngeo em humanos (*Binetti, Costamagna e Marcello, 2006; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Diversos estudos, entretanto, têm vindo a investigar uma possível relação entre a exposição ocupacional a formaldeído e a leucemia, não tendo sido identificada, até ao momento, uma associação esclarecedora (*Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006*). Em relação aos cancros sinonasais, existe apenas evidência epidemiológica limitada que o formaldeído causa este tipo de patologia em humanos (*Luce, Leclerc e Bégin, 2002; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Estudos experimentais recentes, entretanto, evidenciam que as alterações celulares ao nível do epitélio nasal, associadas à exposição ao formaldeído, parecem estar mais relacionadas com a concentração do agente do que com a

duração da exposição (*International Agency for Research on Cancer, 2006; Pyatt, Natelson e Golden, 2008*).

O formaldeído é igualmente classificado como agente cancerígeno pelo *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH). Por sua vez, a Norma Portuguesa 1796:2007 (*Instituto Português da Qualidade, 2007*) classifica-o como sensibilizante e agente cancerígeno suspeito no Homem.

A variedade de processos e operações em que o formaldeído intervém implica, portanto, a exposição de uma ampla e diversificada população trabalhadora (*Perrault, Goyer e Hébert, 2000*).

O *Institut National de Recherche et de Sécurité* (INRS), em 2006, por exemplo, através de monitorizações efectuadas, constatou que existe uma forte tendência para se verificarem exposições superiores ao valor limite de exposição (VLE) estabelecido em França (VLE-MP de 0,5 ppm e VLE-CD de 1 ppm), com especial incidência na produção de painéis de madeira e no meio hospitalar (*Vincent e Jeandel, 2006*). Também o *National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme* (NICNAS), em 2006, identificou como áreas de actividade mais preocupantes em matéria de exposição a formaldeído as relacionadas com o embalsamamento e os laboratórios de patologia forense e hospitalar.

Em Portugal, entretanto, estudos desenvolvidos entre 2006 e 2008 nas indústrias de produção de formaldeído, resinas à base de formaldeído, têxtil, laminados, na área da impregnação de papel e, de forma experimental, em laboratórios de anatomia patológica, numa primeira abordagem da dimensão e características da exposição profissional a formaldeído, indiciam que esta se desenvolve com picos de exposição elevados, em particular na produção de resinas e nos laboratórios de anatomia patológica (*Viegas, Prista e Gomes, 2008; Viegas e Prista, 2010a*).

O tipo de efeitos para a saúde em causa e a dimensão da exposição tornam pertinente o estudo dos factores associados à caracterização da exposição profissional a formaldeído. Não sendo conhecido qualquer estudo, em Portugal, incidindo sobre esta exposição nas suas várias vertentes (caracterização, identificação das variáveis condicionantes, quantificação), considerou-se pertinente o desenvolvimento de um estudo delineado segundo esses objectivos e acrescido da aplicação de uma metodologia de avaliação do risco de cancro nasofaríngeo.

Sendo antecipadamente conhecida a considerável exposição a formaldeído nas situações de trabalho em laboratórios hospitalares de anatomia patológica, foi este contexto ocupacional seleccionado para o desenvolvimento do estudo em causa, tendo por objectivos globais contribuir para o conhecimento da exposição

profissional a formaldeído nestas situações de trabalho, das variáveis influenciadoras e dos métodos de avaliação ambiental mais adequados à avaliação do risco para a saúde decorrente da exposição a esta substância.

## **CAPÍTULO I. ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

## **1. Aspectos gerais do formaldeído**

O formaldeído está enquadrado entre as 25 substâncias químicas mais abundantemente produzidas no mundo devendo-se essencialmente à sua elevada reactividade, ausência de cor, à sua pureza no formato comercial e, ainda, ao seu baixo custo (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007*).

A sua utilização ocorre em diversas áreas de actividade, designadamente na produção de fertilizantes, papel, madeira compensada e resinas, açúcar e cosméticos, na agricultura como conservante de grãos e sementes e na produção de fertilizantes, na indústria da borracha, na preservação da madeira e na produção de filmes fotográficos (*National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

### **1.1 Características gerais**

O formaldeído (HCHO) é um dos aldeídos mais simples, encontrando-se em condições ambientais normais sob a forma gasosa (*International Agency for Research on Cancer, 2006; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007*). É solúvel na água, incolor e apresenta um odor pungente e bastante característico (Goyer, 2007; International Programme on Chemical Safety, 1991) sendo, na forma gasosa, inflamável e podendo formar com o ar misturas explosivas. A sua elevada reactividade resulta da presença de uma ligação dupla polarizada entre o átomo de carbono e o de oxigénio (Naya e Nakanishi, 2005), enquanto a elevada pressão de vapor (516 KPa) explica a sua grande volatilidade (*cf. Figura 1.1*).



Peso molecular	30,03 g/mol
Ponto de fusão	– 92 °C
Ponto de ebulição	– 19 °C
Temperatura de auto ignição	424 °C
Limites de explosividade (LEI/LES)	7% - 73%
Pressão de vapor	516 kPa
Solubilidade	Elevada em água e solventes

*Adaptado de Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1999).*

**Figura 1.1: Características do formaldeído.**

Na presença de ar e à temperatura ambiente polimeriza rapidamente dando origem a paraformaldeído. Reage violentamente com agentes oxidantes como os peróxidos e, com agentes redutores, pode produzir calor e formar gases inflamáveis (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Sob a influência da radiação solar, o formaldeído reage de forma relativamente rápida com outras substâncias existentes no ar, levando a que o seu tempo de semi-vida (tempo necessário a que se reduza a metade uma determinada concentração) seja curto. Durante o dia e na ausência de dióxido de azoto, o tempo de semi-vida do formaldeído é aproximadamente de 50 minutos, decrescendo para 35 minutos na presença de dióxido de azoto (*Naya e Nakanishi, 2005*).

O formaldeído pode reagir com o ácido clorídrico ou outros cloretos inorgânicos para formar éter bis(clorometílico), substância que apresenta propriedades cancerígenas para o Homem (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

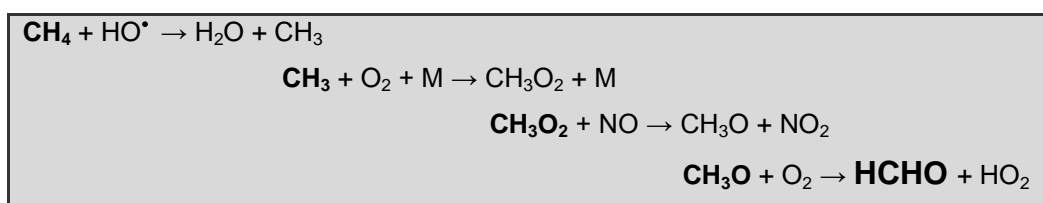
O valor da constante de partição ( $P_{ow}$ ) de 0,35 a 20°C, por seu turno, indica um baixo potencial de biocumulação nos organismos vivos, sendo este facto comprovado pelos resultados obtidos em estudos realizados em seres aquáticos (*International Programme on Chemical Safety, 1991*).

## **1.2 Presença no ambiente**

O formaldeído existente no ar ambiente pode ter origem em fenómenos naturais ou em actividades antropogénicas, partilhando com o acetaldeído o lugar de aldeído mais abundante na atmosfera. Pode ocorrer no ambiente devido a reacções fotoquímicas, mas também devido às emissões dos veículos automóveis

ou outras fontes de combustão com origem em actividades humanas (*International Programme on Chemical Safety, 1991; Granby, Christensen e Lohse, 1997; Goyer, Bégin e Beaudry, 2006*).

A principal fonte de formaldeído atmosférico reside na reacção dos radicais hidroxilo (HO•) com o gás metano, sendo também um dos compostos voláteis que se formam nas primeiras etapas da decomposição de resíduos de plantas no solo (cf. Figura 1.2) (*International Programme on Chemical Safety, 1991; Odabasi e Seyfioglu, 2005*).



*Adaptado de Andrade, Pinheiro e Andrade (2002)*

**Figura 1.2: Reacções do radical HO• que originam formaldeído.**

Uma das principais fontes antropogénicas de formaldeído reside no funcionamento de motores de viaturas não equipadas com conversores catalíticos, uma vez que estes dispositivos promovem a redução das emissões de hidrocarbonetos (HC) e de monóxido de carbono (CO) e convertem grande parte dos óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) em nitrogénio (N<sub>2</sub>) (*Andrade, Pinheiro e Andrade, 2002; World Health Organization, 2002; Odabasi e Seyfioglu, 2005*).

Também as centrais eléctricas que utilizam combustíveis fósseis, as incineradoras de resíduos urbanos e a combustão de resíduos florestais contribuem para a presença ambiental deste agente químico. As emissões directas decorrentes da produção e utilização de formaldeído são, ainda, fontes antropogénicas a considerar (*Andrade, Pinheiro e Andrade, 2002; Naya e Nakanishi, 2005*).

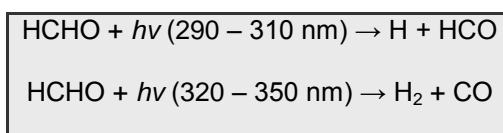
A relação da presença ambiental de formaldeído com a intensidade de actividades antropogénicas é, aliás, um conhecimento adquirido há várias décadas. Por exemplo, no Canadá, no período de 1989 a 1998, verificou-se uma concentração máxima de formaldeído em ambientes exteriores, de 0,029 mg/m<sup>3</sup> em ambientes urbanos e de 0,008 mg/m<sup>3</sup> em ambientes rurais (*Goyer, Bégin e Beaudry, 2006*).

No mesmo sentido concluíram estudos recentemente efectuados, onde se obtiveram concentrações superiores a 20 ppb em grandes cidades como Houston (*Chen, So e Hoason, 2004*) e Cidade do México (*Báez, Padilla e García, 2003*).

Por outro lado, concentrações inferiores a 20 ppb (0,4 e 1,2 ppb) foram medidas em locais remotos do Canadá (*International Programme on Chemical Safety, 1991*) e Dinamarca (*Christensen, Skov e Nielsen, 2000*).

Embora o formaldeído possa ser encontrado em zonas remotas (em relação ao ponto de formação) é considerado um poluente secundário nesses locais, pois a sua presença deve-se essencialmente ao transporte dos seus precursores (como o etano, o propano, o acetaldeído, a acroleína, o metanol e o etanol), de zonas com actividade antropogénica intensa (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; World Health Organization, 2002*).

A fotólise (dissociação de moléculas orgânicas complexas por efeito da radiação electromagnética) e a reacção com radicais HO• representam, por seu lado, os principais processos de remoção do formaldeído da atmosfera (*cf. Figura 1.3*) (*Chen, So e Hoason, 2004; Odabasi e Seyfioglu, 2005*).



*Adaptado de Andrade, Pinheiro e Andrade (2002)*

**Figura 1.3: Acção de remoção do formaldeído por fotólise.**

Contribuem, ainda, para esta remoção as reacções com o ozono (O<sub>3</sub>), com o trióxido de azoto (NO<sub>3</sub>) e com o oxigénio (O), bem como os processos de deposição seca e húmida (*Andrade, Pinheiro e Andrade, 2002; World Health Organization, 2002; Chen, So e Hoason, 2004*). Esta última assume um papel de grande relevância, dada a elevada solubilidade do formaldeído. Em meio aquoso, o formaldeído reage e forma o gem-diol; posteriormente, o ataque de radicais HO• ao gem-diol pode produzir ácido fórmico, contribuindo de forma significativa para a acidez da chuva e a acidificação de lagos (*World Health Organization, 2002; Odabasi e Seyfioglu, 2005*).

### **1.3 Produção e aplicação**

Desde 1889 que o formaldeído tem vindo a ser produzido para comercialização através da oxidação catalítica do metanol (*International Agency for Research on Cancer, 2006; National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006*).

A produção e a utilização de formaldeído têm vindo a aumentar em todo o mundo, com particular destaque para o Continente Europeu, onde se constata um aumento de 50% desde 1983 até 2000 (*International Agency for Research on Cancer, 2006*). Um outro exemplo a registar respeita à China, onde a produção tem vindo a aumentar constantemente, situando-se na ordem das 7,5 mil toneladas em 2007 (*Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*).

A produção de formaldeído parece, aliás, estar relacionada com o desenvolvimento económico dos países e regiões, podendo constatar-se uma maior produção nos Estados Unidos, Continente Europeu, China e Japão (*cf. Figura 1.4*) (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Na Austrália, dados facultados pelos produtores de formaldeído apontam para 50 mil toneladas como a quantidade produzida anualmente. Devido a isso, o formaldeído, desde 2003, faz parte da lista Australiana de produtos químicos de elevado volume existentes no país (*National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006*).

A vasta utilização deste produto, essencialmente devida à sua elevada reactividade, ausência de cor, à sua pureza no formato comercial e, ainda, ao seu baixo custo, coloca-o entre os 25 produtos químicos mais abundantemente produzidos no mundo (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1981; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007*).

Na Suíça, por exemplo, de acordo com o Registo de Produtos Suíços e Alemães, existem cerca de 4 mil produtos que contêm formaldeído na sua composição.

No que diz respeito ao consumo do formaldeído no Canadá, aproximadamente 92% do consumo é destinado à produção de resinas à base de formaldeído e na síntese de outros produtos químicos. No mesmo país, a produção de fertilizantes e a utilização como desinfectante representam, respectivamente, 6% e 2% (*Goyer, Bégin e Beaudry, 2006*). A Austrália apresentava, em 2006, a mesma distribuição no consumo, sendo igualmente a actividade de produção de resinas a principal responsável (*National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006*). Em França, nos anos 90, o consumo anual de formaldeído rondava as 100 mil toneladas (*International Programme on Chemical Safety, 1989; Vincent e Jeandel, 2006*).

País/Região	Produção (× 10 <sup>3</sup> toneladas)	Utilização global (×10 <sup>3</sup> toneladas)
Canadá	675	620
México	136	137
Estados Unidos	4.650	4.459
América Central e do Sul	638	636
Europa Ocidental	7.100	7.054
Europa do Leste	1.582	1.577
Médio Oriente	454	438
Japão	1.396	1.395
África	102	102
China	1.750	1.752
Indonésia	891	892
Malásia	350	350
República da Coreia	580	580
Austrália e Nova Zelândia	304	304
Total	21.547	21.091

Fonte: International Agency for Research on Cancer (2006)

**Figura 1.4: Produção e consumo de formaldeído (solução a 37%) em 2000.**

Podendo ser comercializado na fase sólida (paraformaldeído) e como trioxano ((CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>), o formaldeído é normalmente utilizado e armazenado em solução aquosa de 30% a 50%, a qual habitualmente contém, como agente estabilizador (para evitar a polimerização), o metanol, com uma concentração que pode ser superior a 15%. Pode apresentar várias designações, dependendo da área de actividade onde é utilizado, nomeadamente as de formol, aldeído fórmico, formalina, metanol, óxido de metileno, entre outras (Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007).

A sua utilização ocorre em diversas áreas de actividade, designadamente na produção de fertilizantes, papel, madeira compensada e resinas, açúcar e cosméticos, na agricultura como conservante de grãos e sementes e na produção de fertilizantes, na indústria da borracha, na preservação da madeira e na produção de filmes fotográficos (Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

O formaldeído está envolvido na produção de vários tipos de resinas, como as amínicas, que apresentam uma grande utilização em contexto industrial e que se

obtem através da sua condensação com aminas, como a ureia e a melamina (Vincent e Jeandel, 2006).

As resinas amínicas são utilizadas na indústria papaleira, nomeadamente as resinas de melamina-formaldeído, para se adicionarem à pasta a fim de melhorar a resistência e firmeza das fibras durante o processo de laminação. Aplicam-se, igualmente, como agentes de recobrimento do papel celofane. As resinas de ureia e melamina fazem parte dos aditivos de acabamento do papel com o objectivo de melhorar a sua resistência mecânica (Perrault, Goyer e Hébert, 2000; International Agency for Research on Cancer, 2006).

A produção das resinas de poliacetato igualmente requer a participação de formaldeído. Este tipo de resinas engloba as constituídas por homopolímeros do formaldeído ou copolímeros, como o óxido de etileno e 1,3 dioxalano. Pelas suas características de alta dureza, estabilidade química e resistência ao impacto e abrasão, utilizam-se numa variedade de produtos, como ferramentas, máquinas de embalar alimentos, válvulas, bombas, esquentadores, entre outros (González Ferradás, 1986; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

As resinas de polivinil formol resultam da reacção do formaldeído com alcóois. O composto final obtém-se pela reacção da resina com ácido acético, água e formaldeído, utilizando-se ácido sulfúrico como catalizador. Utilizam-se para o fabrico de adesivos e como aditivo na indústria papaleira (González Ferradás, 1986; Vincent e Jeandel, 2006; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

Na produção de resinas fenólicas, utiliza-se fenol e formaldeído e adicionam-se diferentes catalizadores, dependentes das características pretendidas na resina. Utilizam-se como adesivos de materiais de abrasão (Goyer, Beaudry e Bégin, 2004b; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

Todos estes tipos de resinas (de ureia, melamina, fenólicas e de polivinil-formol) por si ou combinadas com plastificantes, estabilizantes, endurecedores, agentes secantes, entre outros, constituem também adesivos utilizados em numerosas aplicações (Perrault, Goyer e Hébert, 2000; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

Na metalurgia, as resinas de ureia-formaldeído e fenólicas utilizam-se como aglomerantes de areias utilizadas como moldes em fundições metalúrgicas. O procedimento consiste na mistura de resina e areia, a formação do molde e a secagem do mesmo. A elevada temperatura do metal decompõe parcialmente a resina, produzindo fortes emissões de diversos produtos e de formaldeído

(González Ferradás, 1986; Goyer, Beaudry e Bégin, 2004a; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

A indústria da transformação da madeira é a actividade mais importante da utilização industrial do formaldeído. Na produção de aglomerados, contraplacados, laminados, móveis e adesivos de união utilizam-se resinas que têm na sua constituição concentrações diferentes de formaldeído (Gosselin, Brunet e Carrier, 2003; Goyer, Beaudry e Bégin, 2004c; Vaughan, Stewart e Teschke, 2000).

Na produção de plásticos, o formaldeído pode representar uma substância residual de polímeros termoendurecíveis ou um produto da degradação termo-oxidativa de polímeros termoplásticos (Marsh, Stone e Esmen, 1996; Goyer, Beaudry e Bégin, 2004d). No campo dos termoendurecíveis, por exemplo, a baquelite é obtida pela condensação do fenol com o formaldeído, tratando-se do polímero mais antigo de uso industrial (desde 1909) e muito utilizado no fabrico de objectos moldados (González Ferradás, 1986; Vaught, 1991).

Na produção de adubos, o formaldeído é usado em combinação com a ureia para produzir fertilizantes cuja velocidade de solubilização é lenta e controlada. Tratam-se de adubos mais dispendiosos que os fertilizantes nitrogenados convencionais, pelo que a sua utilização é mais restrita, sendo normalmente aplicados em parques, jardins, campos de desporto e aplicações domésticas (Perrault, Goyer e Hébert, 2000).

O formaldeído tem também aplicação na construção civil sob a forma de espumas de revestimento de ureia-formol, as quais constituem um dos sistemas mais utilizados para o revestimento das edificações. Recentemente foram desenvolvidos revestimentos constituídos por espumas fenólicas, muito utilizadas na compactação de fibras de vidro e lã mineral e que apresentam baixos coeficientes de transmissão de calor e elevada resistência ao fogo. O formaldeído está igualmente presente na maior parte dos materiais de revestimento e acabamentos interiores (González Ferradás, 1986; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006).

No acabamento de têxteis, o formaldeído é um constituinte da maioria das resinas utilizadas. Estas reagem com as fibras de celulose alterando as suas propriedades físicas e propiciando uma mudança na rigidez e elasticidade o que, por um lado, permite a manutenção de pregas permanentes e, por outro, evita em parte a formação de rugas durante as acções de lavagem e utilização (Goyer, Bégin e Bpuchard, 2004e; Vincent e Jeandel, 2006).

No tratamento das tintas, o formaldeído permite melhorar a capacidade de fixação das mesmas. Alguns dos aditivos aplicados com acção bactericida também

podem apresentar concentrações diversificadas de formaldeído (*Gilbert, 2005; Vincent e Jeandel, 2006*).

Na agricultura, o formaldeído é utilizado como conservante de sementes e na conservação de tubérculos e frutas (*Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008*), enquanto soluções deste produto são utilizadas frequentemente como desinfectantes para eliminar ou limitar actuações microbiológicas nas indústrias do açúcar, cerveja, além das de fabrico de calçado e de peles (*Vincent e Jeandel, 2006*).

Uma grande diversidade de produtos de limpeza contém concentrações variáveis de formaldeído na sua composição. Esta situação está, entretanto, a ser actualmente alterada em virtude das normas internacionais que restringem a utilização deste agente químico (e de outros) na composição de produtos de limpeza (*Nazaroff, 2006; National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006*).

O formaldeído desempenha um papel importante no fabrico de produtos fitofarmacêuticos fazendo parte da composição de vários preparados, designadamente bactericidas e fungicidas.

Em França, por exemplo, existem cerca de 100 produtos diferentes com esta função possuindo o formaldeído como substância activa (*Vincent e Jeandel, 2006*).

Pelas suas propriedades bactericidas, o formaldeído é utilizado como aditivo em produtos cosméticos como dentífricos, champôs, sabonetes, geles de banho e tintas para cabelo, entre outros (*National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme, 2006*). E igualmente, embora de forma menos frequente, soluções de formaldeído continuam a ser aplicadas na desinfectação de equipamentos e espaços hospitalares (*International Agency for Research on Cancer, 2006; Maison e Pasquier, 2008*).

O formaldeído também intervém na produção de polimetil-polifenil-isocianato (PMDI), produto empregue de forma significativa no fabrico de poliuretanos, que se obtêm pela reacção da anilina com formaldeído na presença de ácido clorídrico e posterior aplicação de fósforo (*González Ferradás, 1986; Vaught, 1991*).

No que concerne à utilização de formaldeído como agente de revelação, não se têm verificado evoluções significativas devido à sua escassa selectividade. Tem algumas aplicações na produção de líquidos de revelação derivados da hidroquinona e na produção de películas para cinematografia, dado que melhora a sua resistência mecânica e ignífuga e actua como endurecedor de películas antes do tratamento com prata. Contribui, ainda, para a redução do tempo implicado no processo de revelação, por virtude de produzir hexamina ao condensar-se com o amoníaco



(González Ferradás, 1986; *National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme*, 2006).

A utilização do formaldeído como conservante e desinfectante na embalsamação de cadáveres e na conservação e fixação de tecidos em hospitais e laboratórios é sobejamente conhecida.

No caso específico do embalsamamento, os fluídos comumente empregues são constituídos ou apenas por formaldeído ou por uma mistura deste com outros produtos, como o álcool, a glicerina e o fenol, que facilitam a penetração e aumentam a sua acção conservante (Richards, Dupont e Larivière, 1990; Hayes, Klein e Suruda, 1997; Bedino, 2004; *International Agency for Research on Cancer*, 2006).

Nos laboratórios hospitalares de anatomia patológica utiliza-se formaldeído em solução, designado comumente por formol. Trata-se de uma solução comercial de formaldeído a 37% que, posteriormente, é sujeita a uma nova diluição de 10%. Este produto é utilizado como fixador ou conservante, em que o material biológico é mergulhado para se manter conservado (Moral, 1993; *National Industrial Chemicals Notification Assessment Scheme*, 2006).

Trata-se de um fixador barato e bastante eficiente e, por esse motivo, o eleito para os trabalhos de rotina em anatomia patológica (Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam, 2005; Vincent e Jeandel, 2006). É um bom desinfectante e não provoca o endurecimento excessivo dos tecidos, revelando-se um óptimo meio para conservar e armazenar material de biópsias e peças cirúrgicas (Moral, 1993).

#### **1.4 Influência na qualidade do ar interior**

Do ponto de vista das preocupações de saúde, os níveis de contaminação do ar interior assumem uma elevada importância quando se tem em consideração que actualmente as pessoas passam a maior parte do seu tempo no interior de edifícios. Na realidade, nas sociedades industrializadas estima-se que o tempo de permanência em ambientes interiores se situe na ordem dos 90% (Gomes, 2001; Lee, Guo e Li, 2002; Bernstein, Alexis e Bacchus, 2008), facto que patenteia bem a relevância das questões relacionadas com a qualidade do ar interior (QAI).

As primeiras referências a problemas de contaminação do ar interior datam do século XVIII, tendo por autor Benjamin Franklin que escreveu sobre os efeitos dos fumos de lareiras em salas fechadas, salientando a necessidade de construir chaminés que garantissem a exaustão adequada dos poluentes (Brickus e Neto, 1999).

Os níveis de concentração de aldeídos, entre os quais o formaldeído, são na maioria das vezes superiores em ambientes interiores (duas a cinco, ocasionalmente cem vezes) quando comparados com ambientes exteriores (*Committee on Aldehyde, 1981; Schlink, Rehwagen e Damm, 2004*). É uma situação com génese nas alterações introduzidas na construção dos edifícios, com o objectivo de promoverem o seu isolamento e estanquidade e, consequentemente, minimizar os consumos energéticos (*Bernstein, Alexis e Bacchus, 2008*). Este facto terá, inclusive, contribuído para que a Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos tenha vindo a classificar os problemas de QAI entre os principais riscos para a saúde pública e, já desde 1988, considerar o formaldeído como um dos principais poluentes do ar interior (*Gomes, 2001; Bernstein, Alexis e Bacchus, 2008*).

De acordo com dados recentes do projecto BUMA (*Prioritization of BUilding Materials as indoor pollution sources*), desenvolvido no espaço Europeu por Bartzis, Canna-Michaelidou e Kotzias (2009), com o objectivo de estabelecer uma base de dados referentes aos principais poluentes emitidos pelos materiais de construção com potencial para influenciar a QAI, o formaldeído é um dos poluentes mais preocupantes e, inclusivamente, os resultados de concentração obtidos em habitações em todo o espaço Europeu foram considerados preocupantes devido ao facto de estarem relacionados com efeitos negativos para a saúde.

São diversas as fontes internas de contaminação do ar interior por formaldeído. Os produtos derivados da madeira (devido à aplicação de diversos tipos de resinas durante o seu processamento), as espumas de isolamento, os vapores emitidos de vernizes, das tintas e dos pavimentos e, igualmente, das carpetes e das alcatifas (por virtude dos vários tratamentos de impregnação com resinas produzidas à base de formaldeído) são consideradas as mais importantes fontes emissoras. O consumo de tabaco e os processos de confecção de produtos alimentares originam, por seu turno, a emissão de vapores de formaldeído (*Kelly, Smith e Satola, 1999; Chang, Guo e Fortmann, 2002; Hogson, Beal e McIlvaine, 2002; Gilbert, 2005; Goyer, Bégin e Bouchard, 2004e; Park e Ikeda, 2006; Pilidis, Karakitsios e Kassomenos, 2009*).

Outras fontes emissoras têm ainda que ser consideradas.

Por exemplo, um estudo recentemente desenvolvido evidenciou a responsabilidade de alguns equipamentos eléctricos, detectando níveis de concentração de 0,055 ppm de formaldeído atribuíveis ao funcionamento de ecrãs televisivos de plasma, quando os referenciais americanos estabelecem o valor de 0,033 ppm como limite máximo de emissão para este tipo de equipamento (*Sohn,*

*Kwak e Kim, 2009*). São dados preocupantes considerando que existe um aumento significativo do número destes equipamentos numa habitação.

Os produtos de limpeza e ambientadores também têm sido apontados como potenciais fontes de formaldeído em ambientes interiores (*Nazaroff, 2006; Solal, Rousselle e Mandin, 2008*).

Diversas referências situam as concentrações de formaldeído no ar interior em edifícios domésticos na ordem dos 0,02 a 0,06 mg/m<sup>3</sup> (0,024 ppm a 0,073 ppm), enquanto níveis superiores a 0,5 mg/m<sup>3</sup> (0,61 ppm) podem ser encontrados em habitações recém-mobiladas (*Goyer, Bégin e Baudry, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Em estudos realizados nos EUA em casas móveis (autocaravanas) foram obtidas concentrações deste agente químico de 0,012 até 5,15 mg/m<sup>3</sup> (0,01 até 4,2 ppm). Por outro lado, também nos EUA, mas em estudos realizados em casas convencionais, foram encontradas concentrações de formaldeído entre 0,024 e 0,49 mg/m<sup>3</sup> (0,02 e 0,4 ppm) possivelmente associadas com emissões a partir de elementos comumente encontrados em habitações (móveis em madeira, tecidos como carpetes e cortinas, consumo de tabaco, entre outros) (*cf. Figura 1.5*) (*Everett, 1983 e Girman, 1983, citados por Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007*).

Concentração de formaldeído (ppm)	Descrição
ND a 0,22	Edifício onde não é permitido fumar
ND a 0,6	Edifício onde é permitido fumar
0,48 a 5,31	Ar interior durante a confecção de alimentos
0,08	Casas móveis (autocaravanas) no Inverno
0,09	Casas móveis (autocaravanas) no Verão

Fonte: *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007)*

**Figura 1.5: Concentração de formaldeído em ambientes interiores (EUA).**

As concentrações de formaldeído em ambientes interiores são fortemente influenciadas pelas características dos edifícios (ventilação, revestimento, acabamento, decoração), a estação do ano (considerando que o aumento da temperatura e humidade promovem a emissão de vapores de formaldeído) e, ainda, as fontes de ar exterior, pois se o ambiente exterior estiver contaminado com o poluente, o seu transporte para o ar interior poderá ser realizado através de

janelas ou sistemas de ventilação mecanizados (Arundel, Sterling e Biggin, 1986; Wu, Li e Lee, 2003; Gilbert, 2005).

Um estudo recente realizado no Japão (Endo, Miyazaki e Hilita, 2001) detectou valores de concentração de formaldeído elevados em várias habitações (0,29 ppm), o que, tendo em conta o valor limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), de 0,1 mg/m<sup>3</sup> (0,08 ppm) para 30 minutos de exposição (World Health Organization, 2000), reforça o sentido de que a qualidade do ar interior dos edifícios de habitação deve ser alvo de atenções adequadas. Neste caso, é importante considerar o facto de o Japão apresentar um clima caracterizado por temperaturas e humidades elevadas, aspectos conhecidos como promotores da volatilização do formaldeído (Wu, Li e Lee, 2003).

Também em edifícios de escritório têm sido detectadas concentrações elevadas de formaldeído, designadamente 0,89 ppm em edifícios no Japão e 2,1 ppm em edifícios na Austrália (Dingle, Tapsell e Hu, 2000; Wu, Li e Lee, 2003).

São valores que excedem largamente as recomendações emanadas pela OMS (World Health Organization, 2001) que, desde 1999, considera que concentrações de formaldeído superiores a 0,08 ppm (0,1 mg/m<sup>3</sup>) são preocupantes e justificam a adopção de medidas correctivas.

Em Portugal existe, desde 2006, legislação que define as concentrações máximas de referência para o formaldeído (e outros poluentes) no ar interior para algumas áreas de actividade, nomeadamente, escritórios, hospitais, escolas, entre outros, estabelecendo o valor de 0,08 ppm com base no indicado pela OMS. Note-se que, nesta legislação, não é expressa a qualidade de habitação doméstica, pelo que os limites a aplicar neste caso são efectuados por analogia (Decreto-Lei nº 79/2006, anexo VII).

São praticamente inexistentes dados referentes a concentrações habituais de formaldeído no ar interior de habitações em Portugal. Um estudo recente realizado em 5 habitações novas, que ainda não apresentavam ocupação humana, com o objectivo de conhecer a influência que os materiais de construção e acabamento utilizados teriam nas concentrações de formaldeído no ar interior, permitiu observar que em 3 das 5 habitações se registavam valores muito superiores (1,61 ppm) ao limite referenciado na legislação e que a utilização de acabamentos em madeira (pavimento, portas, mobiliário) promovia o aumento da concentração deste agente químico (Viegas e Prista, 2008).

Recentemente, em Portugal, um estudo divulgou resultados acerca das concentrações de formaldeído em quatro tipos distintos de ambientes interiores, designadamente em escolas, edifícios de escritórios, habitações novas e em habitações ocupadas. Todos os ambientes estudados apresentaram pelo menos

uma unidade (do conjunto das 5 unidades estudadas em cada ambiente) com valores de concentração superiores ao valor de referência (0,08 ppm) (Viegas e Prista, 2010b).

### **1.5 Exposição profissional**

A importância e dimensão da produção e utilização de formaldeído a nível económico determinam a extensão de pessoas expostas profissionalmente a este agente químico. A exposição ocorre não só na produção directa de formaldeído mas, também, na sua utilização como matéria-prima em diversas áreas de actividade (Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009).

Embora não existam, a nível mundial, dados específicos e precisos sobre o número de pessoas ocupacionalmente expostas a formaldeído, algumas estimativas permitem reconhecer a dimensão e importância desta questão.

Na União Europeia, segundo os dados apresentados em 1998 pelo *International Information System on Occupational Exposure to Carcinogens* (CAREX), desenvolvido pelo Instituto Finlandês de Saúde Ocupacional, no início dos anos 90 existiriam mais de 900 mil trabalhadores expostos a níveis inferiores a 0,1 ppm (0,12 mg/m<sup>3</sup>). Segundo esta estimativa, a exposição a formaldeído, pelo menos a níveis baixos, ocorreria numa grande variedade de actividades (cf. Figura 1.6) (Kauppinen, Toikkanen e Pedersen, 2000; International Agency for Research on Cancer, 2006).

Área de Actividade	Estimativa
Produção de móveis	179.000
Serviços de saúde e veterinários	174.000
Produção de vestuário	94.000
Transformação da madeira e produção de derivados	70.000
Serviços domésticos	62.000
Construção	60.000
Produção têxtil	37.000
Indústria do ferro e do aço	29.000
Produção e fabrico de produtos metálicos, excepto máquinas	29.000
Produção de outros não-metálicos produtos	23.000
Produção de máquinas, excepto equipamento eléctrico	20.000
Indústria química	17.000
Produção de produtos plásticos	16.000
Agricultura e caça	16.000
Produção de papel e de produtos derivados	13.000
Impressão, publicação e actividades relacionadas	13.000
Restauração e hotelaria	13.000
Produção de equipamento de transporte	11.000
Produção de equipamento eléctrico	10.000
Produção de calçado	9.000
Produção de vidro e de produtos de vidro	8.000
Investigação	7.000
Produção de materiais não-ferrosos	6.000
Produção de pele e de produtos de pele ou seus substituintes	6.000
Produção de material fotográfico e óptico	4.000
Produção de alimentos	3.000
Produção de gás natural e petróleo	2.000
Produção de produtos de borracha	4.000
Educação	2.000
Serviços de saneamento e similares	2.000
Serviços de apoio a transportes	2.000
Produção de produtos derivados do petróleo e carvão	1.000
Outras actividades	2.000
Total (valor aproximado)	971.000

Fonte: Kauppinen, Toikkanen e Pedersen (2000)

**Figura 1.6: Trabalhadores expostos a níveis de formaldeído < 0,1 ppm (UE, 1990-93).**

Nos Estados Unidos, o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) estimava que, entre 1981 e 1983, neste país, existiam cerca de 1,4 milhões de indivíduos, em mais de 60 sectores de actividade, potencialmente expostos a formaldeído (*U.S. Department of Health and Human Services, 1999; International Agency for Research on Cancer, 2005*). Destes, cerca de 1,1 milhões trabalhavam em instituições de saúde e em áreas de actividade como a produção de produtos químicos e de papel, produção de maquinaria (excepto eléctrica), actividades de comércio a retalho, concessionários automóveis, estações de serviço, estabelecimentos de restauração e bebidas, agências funerárias, estúdios fotográficos, limpeza, entre outros (*International Agency for Research on Cancer, 2005*).

As exposições mais importantes, entre 2 e 5 ppm, são mais frequentes em actividades profissionais relacionadas com a indústria da madeira e dos têxteis, sendo que as exposições de curta duração, com elevados níveis de concentração de formaldeído (iguais ou superiores a 3 ppm), se encontram associadas a actividades como o embalsamamento e a anatomia patológica (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Por seu lado, níveis inferiores de exposição são frequentemente verificados durante o fabrico de fibras de vidro artificiais, abrasivos e borracha, na produção de resinas, de produtos plásticos e nas indústrias produtoras de formaldeído (*cf. Figura 1.7*). Importa, no entanto, mencionar que em alguns países e em alguns contextos ocupacionais existem ainda exposições elevadas, como as referidas por um estudo desenvolvido recentemente na China, em 2009, onde foram detectados valores de exposição média ponderada elevados, designadamente 3,20 ppm, quando o valor de referência da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) para este referencial de medição é de 0,75 ppm (*He e Zang, 2009*).

A melhoria das condições de ventilação nas unidades de laboração, bem como o desenvolvimento de resinas que emitem menores quantidades de formaldeído têm, entretanto, vindo a permitir uma redução dos níveis de exposição em muitos ambientes industriais (*International Agency for Research on Cancer, 2005*).

Área de Actividade	Concentração (ppm)
Produção de Fertilizantes	0,2 – 1,9
Serviços Funerários	< 0,1 – 5,8
Produção de Tecidos	< 0,1 – 1,4
Resinas	< 0,1 – 5,5
Fundição de Bronze	0,12 – 0,8
Fundição de Ferro	< 0,02 – 18,3
Tratamento de Papel	0,14 – 0,99
Transformação de Matérias Plásticas	> 2,0
Sala de Autópsias	2,2 – 7,9
Laboratórios de Patologia	> 2,0
Indústria da Madeira	1,0 – 2,5

*Fonte: National Institute for Occupational Safety and Health (1981)*

**Figura 1.7: Intervalo de concentração de formaldeído por área de actividade.**

Não existem, em Portugal, dados sistematizados e publicados referentes à exposição a formaldeído nas diferentes áreas de actividade em que o mesmo é utilizado, designadamente o número de trabalhadores expostos e os níveis de exposição.

Contudo, e considerando as suas diversas aplicações, pode referir-se a existência de exposição profissional a formaldeído em actividades diversas existentes no nosso país, como a produção de formaldeído e resinas, a indústria do papel, a produção de laminados e de plásticos, a indústria têxtil, a construção civil e em serviços de saúde.

Segundo os dados do CAREX (*Kauppinen, Toikkanen e Pedersen, 1998*), o número de trabalhadores expostos a formaldeído em Portugal foi estimado em 36.000 (período de 1990 a 1993), sendo considerado o nono agente químico no que diz respeito ao número de trabalhadores expostos. O mesmo estudo disponibilizou também uma estimativa do número de indivíduos expostos a este agente químico por área de actividade, sendo que as áreas de actividade da produção de vestuário e mobiliário, transformação da madeira e indústria têxtil foram as que apresentaram um maior número de trabalhadores expostos (*cf.* Figura 1.8).



Área de actividade	Nº de trabalhadores (estimado)
Produção de Petróleo e Gás Natural	24
Produção industrial de bebidas	170
Indústria têxtil	2.994
Produção de vestuário (excepto calçado)	16.104
Transformação de madeira e derivados	5.556
Produção de mobiliário	9.011
Produção de papel e derivados	93
Indústria química	135
Produção de produtos plásticos	151
Produção de outros produtos minerais não-metálicos	141
Indústria do ferro e aço	406
Indústria de metal não-ferroso	36
Fabrico de produtos metálicos	133
Fabrico de maquinaria (excepto eléctrica)	40
Construção civil	561
Educação e Investigação	47
Saúde	205
Serviços Domésticos	43

Fonte: Kauppinen, Toikkanen e Pedersen (1998)

**Figura 1.8: Estimativa de trabalhadores expostos a formaldeído por área de actividade.**

Dados mais recentes permitem acrescentar alguma informação sobre a realidade da exposição a formaldeído em Portugal.

A produção de formaldeído e de resinas à base de formaldeído, actividade com importantes fontes de exposição a este agente químico, é assegurada por duas unidades industriais localizadas em Sines e Aveiro, com cerca de 500 trabalhadores no total.

No sector da transformação da madeira, em 2006, e considerando apenas as áreas dos painéis, carpintaria e mobiliário por serem as áreas que envolvem o uso frequente de produtos com formaldeído, existiam aproximadamente 50.000 trabalhadores envolvidos (*Associação de Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal, 2006*).

Na indústria do papel, em 2007, existiam cerca de 3.200 trabalhadores em Portugal a desenvolver a sua actividade profissional, embora se desconheça a proporção destes exposta a formaldeído (*CELPA, 2008*).

Dados referentes a 2006 indicam que a indústria têxtil e do vestuário empregava cerca de 180.000 trabalhadores em Portugal e a indústria do calçado, por sua vez, cerca de 80.000 (*Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes, Artigos de Pele, 2007*). São números importantes e representativos da dimensão que esta área de actividade apresenta em Portugal.

Segundo dados mais recentes da Direcção-Geral da Saúde, no ano de 2004 existiam, em Portugal, 41 Unidades Hospitalares do sector público com Serviços de Anatomia Patológica (área de actividade com exposição a formaldeído bem identificada), sendo de 124 o número de técnicos envolvidos na zona de Lisboa (*Adriano, Palma e Sousa, 2005*).

Em 2005, um estudo desenvolvido em Portugal com o objectivo de conhecer as concentrações de compostos orgânicos voláteis em 5 laboratórios hospitalares de anatomia patológica evidenciou exposições elevadas a formaldeído (> 5 ppm) (*Albuquerque e Ferro, 2005*).

Mais recentemente, em 2008, uma avaliação em situação de exposição profissional identificou concentrações mais elevadas (5,02 ppm) em laboratórios hospitalares de anatomia patológica do que em contextos industriais de produção ou utilização de formaldeído (*Viegas e Prista, 2009b*).

Ainda entre nós, as concentrações de formaldeído em vários postos de trabalho de uma unidade de produção de resinas e formaldeído foram avaliadas, tendo sido identificados valores máximos elevados (1,09 ppm) e superiores ao valor de referência (0,3 ppm) (*Viegas, Ladeira e Vacas, 2008; Viegas e Prista, 2009b*).

No mesmo ano, os mesmos autores efectuaram medições numa unidade de impregnação de papel com resinas à base de formaldeído, tendo igualmente obtido valores de concentrações elevadas de exposição ao formaldeído (1,04 ppm) (*Viegas, Ladeira e Vacas, 2008; Viegas e Prista, 2009b*).

São dados que falam de realidades em áreas de actividade em que, reconhecidamente, se regista exposição profissional ao formaldeído. Contudo, embora alguns estudos recentes constituam um passo inicial, muito há a investigar para um cabal conhecimento da exposição profissional a formaldeído em Portugal.

## **2. Ciclo toxicológico e efeitos para a saúde**

O formaldeído está habitualmente presente em muito baixas concentrações na maior parte dos organismos, tecidos e células podendo, no sangue dos mamíferos (homem, macacos e ratos), alcançar valores próximos de 0,1 mM (*Heck e Casanova, 2004*).

Parte deste formaldeído, muitas vezes mesmo a maior parte, resulta da exposição do organismo a fontes externas do agente químico.

Além disso, o formaldeído existe naturalmente no organismo humano, sendo um produto derivado de metabolismos diversos (como os da serina, da glicina, da metionina, da colina, da sarcosina e da homoserina e, ainda, da desmetilação de compostos N-, S- e O-metil). Alguns fármacos antitumorais podem conduzir à produção endógena de formaldeído, promovendo a demetilação do citocromo P450 e, segundo estudos de Yu e Zuo (1996, citado por *International Agency for Research on Cancer, 1995*) e de Yu et al (1997, citado por *International Agency for Research on Cancer, 1995*), também a desaminação da epinefrina conduz à formação de formaldeído (*Hedberg, 2001; Heck e Casanova, 2004*).

### **2.1 Ciclo toxicológico**

A partir do meio exterior, o formaldeído penetra no organismo principalmente por via respiratória, facto que muito se deve à sua elevada volatilidade. A penetração por via dérmica é usualmente baixa, enquanto a via digestiva representa uma situação esporádica, ocorrendo apenas em situações acidentais ou por contaminação alimentar (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Devido à sua solubilidade na água, o formaldeído que penetra por inalação ou por ingestão é rapidamente absorvido nos tractos respiratório e gastrointestinal e fortemente metabolizado em formato na própria zona de absorção. A absorção por via dérmica, por seu turno, é normalmente muito fraca apesar de o formaldeído e os seus metabolitos poderem penetrar na pele humana, conduzindo ao risco de dermatites de contacto (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Estudos experimentais demonstraram que, uma vez inalado, mais de 90% do formaldeído é absorvido no tracto respiratório superior de ratos e macacos. Em

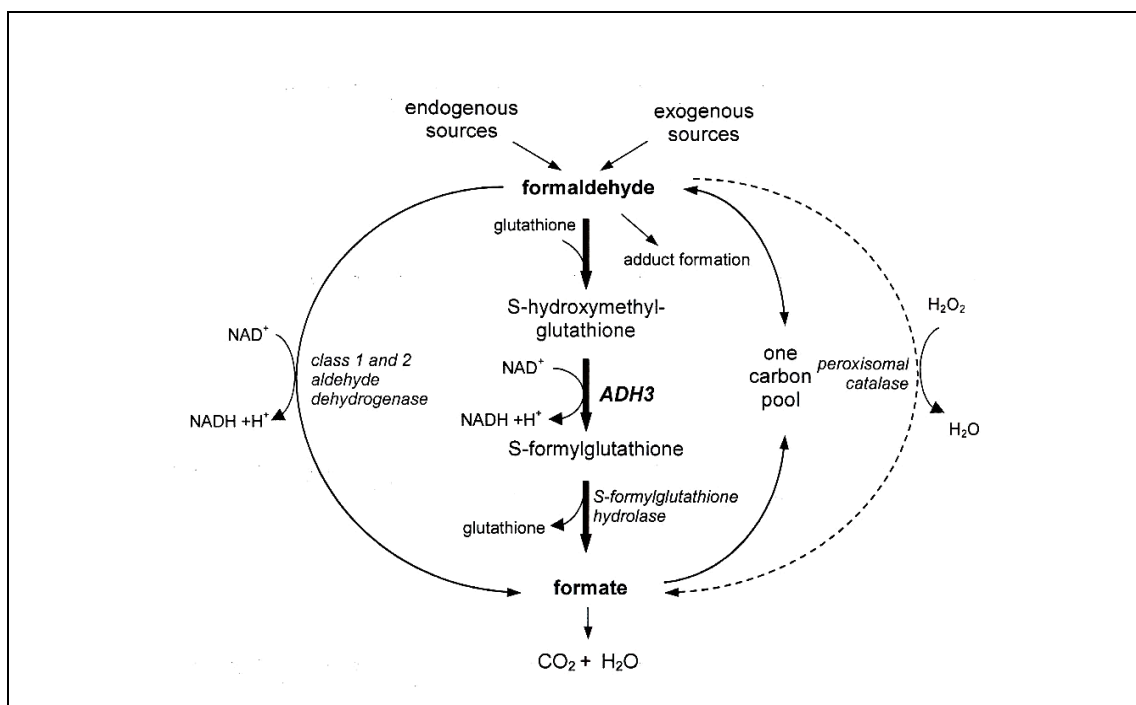
humanos, por seu turno, a absorção ocorre nas mucosas nasal e oral e, ainda, na traqueia e brônquios, podendo considerar-se que praticamente a totalidade do formaldeído inalado é absorvido (*International Programme on Chemical Safety, 1989; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

A rápida metabolização em formato conduz, contudo, a que à inalação de formaldeído não corresponda um relacionável acréscimo dos seus níveis sanguíneos, situação estudada e esclarecida não só em animais de laboratório mas também em investigações com humanos (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

Como consequência da sua produção endógena em todos os tecidos do organismo, verifica-se a metabolização do formaldeído em formato, o qual, por sua vez, é removido através da circulação sanguínea (*Heck, et al., 1982, citado por Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

O formaldeído absorvido, por seu turno, reage instantaneamente com aminas primárias e secundárias, tióis, hidroxilos e amidas para formar derivados de metilol. Pode ligar-se de forma reversível à cisteína para formar tiazolidina-4-carboxilato. Pode unir-se também a ureia para formar aductos hidroximetil ou, ainda, reagir com macromoléculas como o DNA, RNA e proteínas para formar aductos reversíveis ou irreversíveis (ligações cruzadas) (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

São várias as enzimas envolvidas no processo de oxidação do formaldeído, designadamente a desidrogenase do formaldeído (ADH3), a aldeído desidrogenase, a S- formilglutathione hidrolase, a glioxalase e, por fim, a catalase (*Heck e Casanova, 2004; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*). De entre elas, contudo, sobressai o papel da desidrogenase do formaldeído (ADH3) como principal responsável pela metabolização deste agente químico (*cf. Figura 2.1*) (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

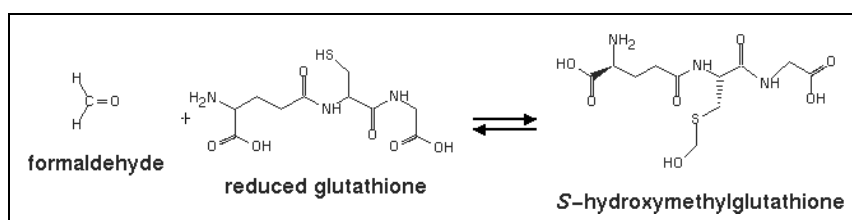


Fonte: Hedberg (2001)

**Figura 2.1: Metabolismo do formaldeído.**

Na presença de glutatona (GSH), o formaldeído forma espontaneamente o aducto S-hidroximetilglutatona, que é oxidado pela enzima desidrogenase do formaldeído, dependente da GSH, para formar S-formilglutatona com a concomitante redução de  $\text{NAD}^+$  (Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006):

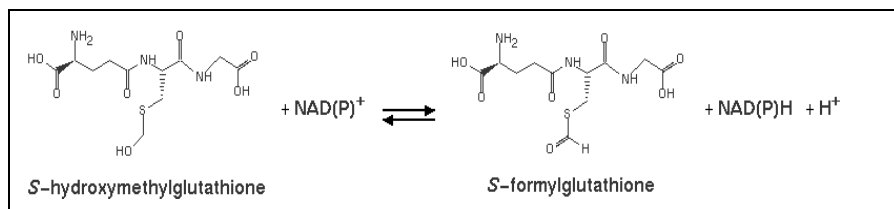
- O formaldeído reage espontaneamente e de forma reversível com a glutatona (GSH) presente nas células para formar S-hidroximetilglutatona (cf. Figura 2.2).



Fonte: Saccharomyces Genome Database (2007)

**Figura 2.2: Reacção do formaldeído com a glutatona.**

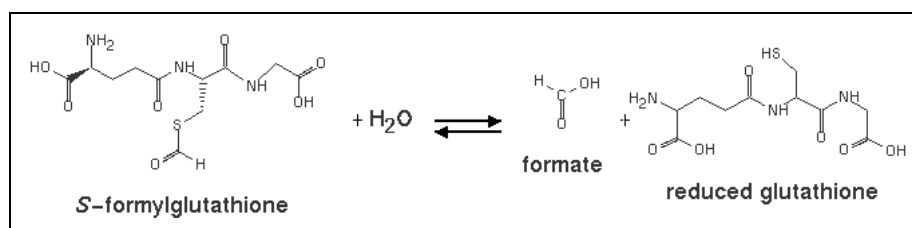
- Na presença de  $\text{NAD}^+$ , a S-hidroxi metilglutathiona é convertida, por acção da enzima desidrogenase do formaldeído (ADH3), em S-formilglutathiona (cf. Figura 2.3).



*Fonte: Saccharomyces Genome Database (2007)*

**Figura 2.3: Conversão da S-hidroxi metilglutathiona em S-formilglutathiona.**

- Na presença de água, a S-formilglutathiona é transformada, através da hidrolase da S-formilglutathiona, em glutathiona e formato (ácido fórmico) (cf. Figura 2.4).



*Fonte: Saccharomyces Genome Database (2007)*

**Figura 2.4: Transformação da S-formilglutathiona em glutathiona e formato.**

A ADH3 representa, desta forma, um papel vital na defesa do organismo contra a acção do formaldeído e dos seus aductos (*Hedberg, 2001*). A observação de efeitos tóxicos, incluindo os carcinogénicos, verificada em estudos experimentais com exposições a formaldeído inferiores a 6 ppm tem vindo a ser explicada como devido à saturação da ADH3 ou à depleção da GSH. Esta interpretação está em sintonia com os resultados obtidos por Casanova, Deyo e D'A. Heach (1989) que demonstraram que, na mucosa nasal de ratos em laboratório, uma única exposição a concentrações no ar de 2,6 ppm de formaldeído reduzia para metade a capacidade disponível para oxidação pela ADH3.

Barber e Donohue (1998), entre outros estudos, visando conhecer o processo de regulação da ADH3, concluíram que a transcrição do gene da ADH3 é regulada pela presença de um gene promotor no ADN, cuja actividade é aumentada pelo formaldeído exógeno e endógeno, embora se julgue que tanto o formaldeído

como qualquer um dos seus aductos possa funcionar como indutor da transcrição. Importa considerar, entretanto, que o gene promotor da ADH3 apresenta vários polimorfismos que podem influenciar a transcrição e, conseqüentemente, a capacidade de metabolizar o formaldeído (*Hedberg, 2001; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

Para além da ADH3, o formaldeído pode também ser metabolizado por uma aldeído-desidrogenase que actua independentemente da presença de GSH. Em mamíferos e em humanos existem múltiplas formas desta enzima, tendo duas delas afinidade para o formaldeído livre, designadamente a desidrogenase de aldeído citosólica de classe 1 (ALDH1) e a desidrogenase de aldeído mitocondrial de classe 2 (ALDH2) (*Wang, Nakajima e Kawamoto, 2002; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*).

Num estudo desenvolvido por Dicker, *et al.* (1986, citado por *Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*) foi possível observar que, em concentrações fisiológicas, a enzima predominante na oxidação do formaldeído é a ADH3, mas que a ALDH1 e a ALDH2 se tornam relevantes de forma crescente com o aumento das concentrações de formaldeído.

De forma semelhante, também para estas duas enzimas foram reportados polimorfismos genéticos. No caso da ALDH2, alguns polimorfismos podem causar uma redução da capacidade de oxidação do formaldeído em mais de 10% (*Hedberg, 2001*).

A enzima S-formilglutathione hidrolase tem como função catalisar a hidrólise da S-formilglutathione em formato e GSH. Uotila e Koivusalo (1997, citado por *Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006*) verificaram que esta enzima apresenta, na maior parte dos tecidos, uma actividade 600 a 2.000 vezes maior que a da ADH3 e 10 a 30 vezes superior quando comparada com a da glioxalase II.

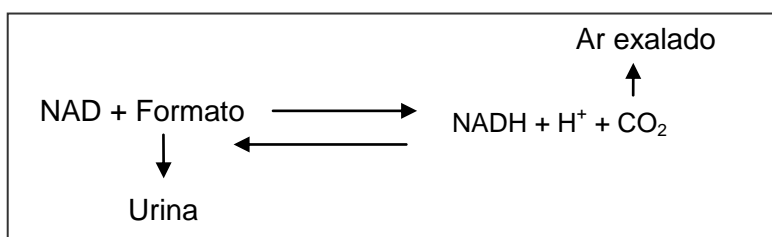
Esta última enzima é a responsável pela catalisação da hidrólise de S-formilglutathione em formato e GSH. Na maior parte dos tecidos apresenta, contudo, menor actividade comparativamente com a ADH3 (*Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; Wilson, Gleinsten e Donohue, 2008*).

Por fim, o formaldeído também pode ser oxidado pela catalase, via que assume particular relevância nas situações de depleção da GSH (*Heck e Casanova, 2004; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; Wilson, Gleinsten e Donohue, 2008*).

Poderá, assim, concluir-se que o formaldeído pode ser oxidado em duas etapas, sendo catalisado por duas enzimas diferentes (a ADH3 e a hidrolase da S-formilglutathione) sem consumo da glutathione (GSH) (*Hedberg, 2001*). A GSH é uma molécula muito importante dado apresentar um papel antioxidante contra a acção de diversos agentes agressores do organismo. Apresenta outras funções

indispensáveis como a síntese e reparação do ADN, síntese proteica, transporte de aminoácidos, metabolismo de outras toxinas e agentes cancerígenos e, ainda, a activação enzimática. Desta forma, facilmente se percebe a relevância de não ser consumida nas reacções que envolvem o metabolismo do formaldeído (*Gibson e Skett, 2001; Wu, Li e Lee, 2003*).

Os metabolitos resultantes da acção destas enzimas, designadamente o ácido fórmico e o dióxido de carbono, são eliminados do organismo através da urina e do ar exalado, respectivamente. O formaldeído, após oxidação, é, assim, eliminado pela urina sob a forma de formato ou pelo ar exalado na forma de dióxido de carbono (*Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006; National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006*).



**Figura 2.5: Eliminação dos metabolitos.**

Num estudo desenvolvido por D'A. Heck, Chin e Schmitz (1983) incidindo sobre roedores expostos a níveis entre 0,63 e 13,3 ppm de formaldeído durante 6 horas, concluiu-se que as percentagens de eliminação são independentes da concentração ambiental, que a principal via de excreção é a respiratória (40%), seguida da urinária (17,5%) e das fezes (4,2%) e que, 70 horas após o término da exposição, permanece nos tecidos 37% da dose inalada de formaldeído, sendo incorporado no ciclo do carbono (*González Ferradás, 1986; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

A oxidação enzimática do formaldeído, que conduz à sua eliminação, representa, portanto, uma estratégia de protecção do organismo contra os níveis de formaldeído endógeno e exógeno (*Vincent e Jeandel, 2006*).

## **2.2 Efeitos para a saúde**

Não se conhece o exacto mecanismo pelo qual o formaldeído origina os seus efeitos toxicológicos. É provável que a toxicidade ocorra quando os seus níveis



intracelulares saturam a actividade da desidrogenase do formaldeído (ADH3) excedendo, assim, as capacidades naturais de protecção e conduzindo à livre presença de moléculas não metabolizadas (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Devido à sua reactividade e rápido metabolismo nas células da pele, tracto gastrointestinal e pulmões, os efeitos locais parecem apresentar um papel mais importante comparativamente com os efeitos sistémicos (*Vargová, Wagnerová e Lisková, 1993*). Da mesma forma, a localização das lesões correspondem principalmente às zonas expostas às doses mais elevadas deste agente químico, ou seja, o desenvolvimento dos efeitos tóxicos dependerá mais da intensidade da dose externa do que da duração da exposição (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Vincent e Jeandel, 2006; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Os efeitos adversos para a saúde são mais prováveis de ser observados após a inalação do que o contacto por outra via (*International Agency for Research on Cancer, 2006*). No que concerne à penetração por via dérmica, entretanto, a acção nociva ocorre na própria pele e dificilmente o formaldeído atinge a corrente sanguínea por esta via (*National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, 2006*).

Embora diversos estudos epidemiológicos identifiquem vários sintomas com a exposição a formaldeído, haverá que ter rigoroso cuidado em atribuir a responsabilidade unicamente à exposição a este agente químico uma vez que, em contexto ocupacional, ocorre frequentemente a exposição simultânea a outros agentes químicos (*Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008*).

Quanto à natureza das lesões, dependem da sensibilidade dos tecidos expostos e da concentração de formaldeído existente no local (*IPCS INCHEM, 2004; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

A toxicidade do formaldeído manifesta-se com amplitudes diversas, desde simples irritações das mucosas, como o lacrimejar e o prurido, até danos severos como alterações neurológicas irreversíveis e tumores nasais que podem provocar incapacidade ou até mesmo a morte da pessoa exposta (*Hansen e Olsen, 1996; Marsh, Stone e Esmen, 1996*).

De uma forma geral, os principais efeitos agudos induzidos pela exposição ao formaldeído são resultantes das suas propriedades irritantes.

A toxicidade manifestada dependerá da dose (concentração do agente químico e tempo de exposição) e dos locais onde ocorre a absorção (aparelho respiratório ou aparelho digestivo) (*McLaughlin, 1994*).

Após uma exposição aguda observa-se irritação das mucosas ocular e das vias respiratórias, em particular das vias respiratórias superiores, sendo possível observar também alterações celulares como, por exemplo, lesões mucociliares (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

A afinidade para as mucosas é explicável pelas propriedades físico-químicas deste agente químico, designadamente a sua elevada solubilidade na água. A constante humidade existente nas vias respiratórias será, assim, facilitadora da sua retenção ao nível dos epitélios de revestimento (*IPCS INCHEM, 2004*).

Estudos experimentais efectuados em animais demonstraram que a inalação de concentrações elevadas (>98 ppm) de formaldeído é susceptível de causar hipersalivação, dispneia aguda, vómitos, espasmos musculares, convulsões e morte (*IPCS INCHEM, 2004*).

Segundo o NIOSH, o formaldeído é imediatamente perigoso para a vida quando presente em concentrações iguais ou superiores a 20 ppm (*Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008*).

No que concerne à exposição ao formaldeído por ingestão, esta resulta genericamente em alterações de intensidade diversa, de natureza irritativa, podendo determinar patologia inflamatória e ulcerativa ao nível da boca, esófago e estômago (*U.S. Environmental Protection Agency, 2003; Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008; Maison e Pasquier, 2008*).

#### 2.2.1 Pele e mucosas

O efeito do formaldeído no organismo humano mais facilmente detectável é a acção irritante, transitória e reversível sobre as mucosas dos olhos e aparelho respiratório superior (naso e orofaringe), o que acontece em geral para exposições frequentes e superiores a 1 ppm (*Suruda, Schulte e Boeniger, 1993; Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008*). Doses elevadas são citotóxicas e podem conduzir a degenerescência e necrose das mucosas e epitélios (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Embora a percepção olfactiva e a sensibilidade aos efeitos irritantes do formaldeído variem de indivíduo para indivíduo (*Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008*), os limites de detecção pelo homem situam-se em concentrações entre 0,1 e 0,3 ppm no ar ambiente, apesar de alguns indivíduos poderem sentir o odor do formaldeído a concentrações inferiores (*International Programme on Chemical Safety, 1991*).

Ao nível da pele, o contacto directo com soluções de formaldeído pode causar irritações na pele em alguns indivíduos. Genericamente, soluções com concentrações entre 5% e 25% são irritantes, podendo determinar prurido,

sensação de formiguelo e rubor, considerando-se corrosivas soluções com concentrações superiores a 25% (*International Programme on Chemical Safety, 1991*).

As exposições de longa duração com soluções líquidas de formaldeído, em alguns indivíduos, podem conduzir a dermatites por contacto (*U.S. Environmental Protection Agency, 2003; International Agency for Research on Cancer, 2006*). A sensibilização resulta do contacto directo com produtos contendo formaldeído (designadamente cosméticos), embora a sensibilização pelo contacto no ar ambiente não possa ser desprezada (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Estudos clínicos e epidemiológicos identificaram sensibilidade e irritabilidade ao nível dos olhos, nariz e garganta (lacrimejo, espirros, tosse) relacionados com a exposição a formaldeído, considerando-se serem estes os primeiros efeitos a serem sentidos (*IPCS INCHEM, 2004; Maison e Pasquier, 2008*).

É possível observar irritação moderada dos olhos, nariz e garganta com concentrações de formaldeído entre 2 e 3 ppm no ar ambiente (*Sauder, Chatham e Green, 1986; Witek, Schachter e Tosun, 1987*).

No entanto, os efeitos irritantes provocados pelo formaldeído são reversíveis, i. e., desaparecem após a exposição acabar, sendo de referir que, ao longo do tempo, se desenvolve tolerância aos efeitos irritantes (*Carrier, Bouchard e Noisel, 2006*).

A irritação das vias respiratórias superiores agrava-se com concentrações superiores a 4 ppm, sendo acompanhada por irritação da traqueia e dos brônquios. Exposição a concentrações superiores a 50 ppm podem, entretanto, provocar lesões graves nas vias respiratórias (*Maison e Pasquier, 2008*).

#### 2.2.2 Aparelho respiratório

Os efeitos do formaldeído sobre a mucosa respiratória terão suscitado a investigação do seu papel enquanto potencial agente etiológico de doenças crónicas do sistema respiratório. Yefremov, em 1970, identificou uma maior prevalência de doenças crónicas do aparelho respiratório em 278 trabalhadores de uma instalação de processamento de madeiras expostos a formaldeído, tendo por comparação 200 indivíduos não-expostos e utilizados como controlo. Estes resultados, contudo, obrigam a grandes cautelas na sua interpretação, dado não ter sido quantificada a exposição nem terem sido tidos em conta possíveis factores de confundimento (*International Agency for Research on Cancer, 2006*).

A exposição crónica a níveis elevados de formaldeído pode conduzir a alterações degenerativas, inflamatórias e hiperplásicas na mucosa nasal

(*International Agency for Research on Cancer, 2006*). Estudos diversos identificaram alterações do lavado nasal consistentes com irritação do epitélio em indivíduos expostos a concentrações de formaldeído no ar na ordem dos 0,4 ppm durante 4 horas (*Gorski, et al., 1992, Pazdrak, et al., 1993, Krakowiak, et al., 1998, citados em Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*).

Em adultos não existe evidência de associação significativa entre a exposição a formaldeído e a prevalência de sintomas respiratórios, bronquite crônica ou asma brônquica (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999*). Acresce, ainda, que diversos estudos demonstram que, embora as pessoas asmáticas sejam consideradas mais sensíveis aos produtos irritantes, não são particularmente sensíveis ao formaldeído (*Sauder, Chatham e Green, 1986; Witek, Schachter e Tosun, 1987; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Num estudo desenvolvido em animais não se observaram indícios de sensibilização respiratória em ratos; no entanto, estes resultados não permitem uma previsão definitiva da sensibilização respiratória nos seres humanos (*Hilton, Dearman e Basketter, 1996*).

#### 2.2.3 Toxicidade reprodutiva

O formaldeído não parece conduzir a efeitos teratogênicos (*International Agency for Research on Cancer, 1995*). Recentes avaliações, contudo, indiciam a existência de uma associação entre a exposição profissional a formaldeído e um aumento do TPP (Time To Pregnancy) e das taxas de aborto espontâneo e partos prematuros (*Taskinen, Kyyrönen e Sallmén, 1999; Collins, Ness e Tyl, 2001; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

#### 2.2.4 Genotoxicidade

Estudos *in vitro* têm permitido documentar que o formaldeído é um agente mutagênico para bactérias e seres eucariotas inferiores e clastogênico para células de mamíferos (*Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006*).

Uma vez absorvido, o formaldeído sofre reacções químicas com compostos orgânicos (ADN, nucleótidos, proteínas, aminoácidos) por adição e condensação, formando aductos e ligações ADN-proteína (*Thrasher e Kilburn, 2001*).

Apesar dos efeitos genotóxicos *in vitro* e *in vivo* em células de animais de laboratório estarem bem documentados, nomeadamente em roedores, o mesmo não se verifica para os efeitos genotóxicos *in vivo* em humanos. No entanto, em indivíduos expostos ocupacionalmente a formaldeído, vários estudos reportam ligações ADN-proteína (*Casanova, Deyo e D'A. Heach, 1989; Shaham, Bomstein e Gurvich, 2003*), troca de cromatídeos irmãos (*Yager, Cohn e Spear, 1986*),

aberrações cromossômicas e aumento de micronúcleos (MN) (Ye, Yan e Zhao, 2005; Ladeira e Viegas, 2009).

Os efeitos genotóxicos locais têm sido demonstrados de forma clara em estudos experimentais, enquanto tem sido pouco evidente a identificação de genotoxicidade a nível sistémico (Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006; Speit, Schmid e Fröhler-Keller, 2007; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009). Esta genotoxicidade local, em humanos, tem sido evidenciada pela observação do aumento da frequência de MN na mucosa da boca e do nariz de indivíduos expostos (Speit e Schmid, 2006; Ladeira e Viegas, 2009).

A maior parte dos estudos laboratoriais de toxicidade na sequência de exposição crónica a formaldeído foram desenvolvidos em ratos, nos quais se observou o desenvolvimento de efeitos histopatológicos (hiperplasia, metaplasia e displasia) na cavidade nasal a concentrações de formaldeído a partir de 2 ppm (Swenberg, Kerns e Mitchell, 1980; Kerns, Pavkov e Donofrio, 1983; Appelman, Woutersen e Zwart, 1988; Woutersen, Van Garderen-Hoetmer e Bruijntjes, 1989; Monticello, Swenberg e Gross, 1996).

A concentrações ambientais de 15 ppm de formaldeído, o índice de proliferação de células aumentou 8 a 13 vezes em roedores, 18 horas após um único período de inalação de 6 horas. Após uma exposição de curta duração, durante 5 dias consecutivos, a uma concentração superior, o mesmo índice, entretanto, cresceu entre 13 e 23 vezes mais (Chang, Gross e Swenberg, 1983).

#### 2.2.5 Carcinogenicidade

Os primeiros indícios de carcinogenicidade do formaldeído foram tornados públicos pelo *Chemical Industry Institute of Toxicology* (CIIT), dos Estados Unidos, em 1978, relatando o desenvolvimento de cancro nasal em ratos laboratorialmente expostos a esta substância (*International Agency for Research on Cancer*, 2005).

No entanto, os dados disponíveis eram limitados, a falta de consistência e o padrão de dose-resposta e, ainda, a escassez de dados referentes à exposição suportavam a ideia de não existir evidência suficiente de o formaldeído ser cancerígeno no Homem.

Ao longo dos anos, a avaliação do potencial carcinogénico do formaldeído foi sofrendo alterações por parte de diversas agências internacionais com interesse no assunto.

A primeira avaliação efectuada pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC) data de 1981, actualizada posteriormente em 1982, 1987, 1995 e 2004 e considerando o formaldeído como um agente cancerígeno do grupo 2A (provavelmente carcinogénico) (Binetti, Costamagna e Marcello, 2006).

Finalmente, em 2006, o formaldeído foi por esta organização classificado como “cancerígeno humano”, com base no excesso de cânceros nasofaríngeos reportados num estudo de coorte desenvolvido em embalsamadores e em trabalhadores expostos a formaldeído (*Hauptmann, Lubin e Stewart, 2004; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Diversas outras agências internacionais, contudo, ainda não efectuaram uma revisão da sua própria classificação, mantendo o formaldeído numa zona de suspeição ou de previsibilidade no que respeita aos efeitos carcinogénicos (cf. Figura 2.6).

Instituição	Classificação
EC	Substância preocupante para o Homem devido aos seus possíveis efeitos cancerígenos, mas a informação disponível não é a adequada para realizar uma avaliação satisfatória.
NTP	Razoavelmente previsível ser cancerígeno humano baseado na evidência limitada em humanos e evidência suficiente em animais.
NIOSH	Potencial cancerígeno ocupacional (câncer nasal).
IARC	Grupo 1: Evidência suficiente em humanos e animais da carcinogenicidade.
EPA	Classificação B1: provável cancerígeno humano baseado na evidência limitada em humanos e evidência suficiente em animais.
DFG	Substância com potencial cancerígeno.
ACGIH	Substância suspeita de ser cancerígena para o Homem.
NP 1796:2007	Agente carcinogénico suspeito no Homem.

EC – European Community; NTP- National Toxicology Program; NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health; IARC – International Agency for Research on Cancer; EPA – Environment Protection Agency; DFG – German Research Foundation; ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists; NP – Norma Portuguesa

**Figura 2.6: Classificação do formaldeído por diferentes entidades.**

Dados da IARC e da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), entretanto, referem a incidência aumentada de carcinomas nasais de células escamosas observada em estudos experimentais desenvolvidos em roedores sujeitos exposição crónica a vapores de formaldeído, assim como os resultados de vários estudos epidemiológicos que vêm demonstrando uma associação estatisticamente significativa entre neoplasias da nasofarínge e a exposição a formaldeído ou a produtos que o contêm (cf. Figura 2.7) (*International Agency for*

*Research on Cancer, 2006; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007).*

Referência	Tipo de estudo	Resultados mais relevantes
Hauptmann, Lubin e Stewart (2004)	Coorte 25619 Trabalhadores em 10 fábricas de produção de formaldeído, resinas, moldagem de plásticos, filmes fotográficos e laminados (< 1966-1994).	Risco relativo significativamente maior para mortalidade por tumores do aparelho respiratório para uma intensidade de exposição $\geq 1$ ppm.
Coggon, Harris e Poole (2003)	Coorte 14041 Trabalhadores em 6 fábricas que produziam ou utilizavam formaldeído (5185 mortes no total do coorte 1941-2000).	Mortalidade mais elevada no grupo exposto quando comparado com a população em geral.
Marsh, Youk e Buchanich (2002)	Coorte 7328 Trabalhadores numa fábrica de fibra de vidro (1941-1998).	Risco relativo significativamente maior para mortalidade por cancro da faringe e nasofaríngeo para trabalhadores com uma exposição até 10 anos.
Hildesheim, Dosemeci e Chan (2001)	Caso-controlo 375 Casos e 325 controlos.	OR=1,4 Ajustado para os hábitos tabágicos
Armstrong, Imrey e Lye (2000)	Caso-controlo 119 Casos e 163 controlos.	OR=0,71 Ajustado para exposições múltiplas, hábitos tabágicos, dieta e classe social.
Vaughan, Stewart e Teschke (2000)	Caso-controlo 196 Casos e 244 controlos.	OR = 1,3 OR =1,3 (concentrações máximas >0,5 ppm) Ajustado para os hábitos tabágicos.
West, Hildesheim e Dosemeci (1993)	Caso-controlo 104 Casos e 205 controlos.	OR = 2,7 (exposições inferiores a 15 anos) Ajustado para outras exposições.
Rousch, Walrath e Stayner (1987)	Caso-controlo 173 Casos e 605 controlos.	OR =2,3 Para exposições a concentrações elevadas Ajustado para a idade.

*Fonte: International Agency for Research on Cancer (2006)*

**Figura 2.7: Alguns estudos epidemiológicos indiciando a carcinogenicidade do formaldeído.**

Embora os mecanismos de carcinogenicidade não estejam ainda bem compreendidos, no entanto, os estudos experimentais indiciam a proliferação celular como um importante componente do processo de carcinogenicidade do formaldeído (*Duhayon, Hoet e Van Maele-Fabry, 2008*).

A formação de tumores associada à exposição a formaldeído tem sido relacionada com concentrações superiores a 6 ppm nos roedores e a 4 ppm no

Homem. No entanto, tentar definir um nível seguro de exposição através de dados obtidos em estudos epidemiológicos apresenta uma série de limitações, dado existirem poucos estudos e informações detalhadas acerca da exposição, obrigando a extrapolar de modelos estatísticos animais com as limitações óbvias das diferenças existentes entre espécies (*Von Schulte, Bernauer e Christensen, 2006*).

Alguns estudos referem ainda outros tipos de neoplasias como possivelmente relacionadas com a exposição a formaldeído, designadamente o cancro biliar, o cancro do canal hepático, o cancro linfático e o hematopoiético. Foram também verificados alguns casos isolados ou esporádicos de aparecimento de leucemia, cancro do pâncreas e do cólon, mieloma múltiplo, linfoma maligno (doença de Hodgkin) e melanoma do globo ocular (*Collins e Lineker, 2004; International Agency for Research on Cancer, 2005, 2006; Zhang, Steimaus e Eastmond, 2009*).

A possibilidade de uma relação entre a exposição ao formaldeído em certas actividades profissionais (embalsamadores, profissionais de anatomia patológica e trabalhadores de funerárias) com a ocorrência de leucemias, particularmente do tipo mielóide, tem igualmente vindo a ser alvo de investigação (*cf. Figura 2.8*) (*Collins e Lineker, 2004; International Agency for Research on Cancer, 2005, 2006; Bonnard, Falcy e Pasquier, 2008; Zhang, Steimaus e Eastmond, 2009*).

Dados disponibilizados pela IARC referem que, em seis de sete estudos de coorte efectuados em embalsamadores, trabalhadores de funerárias e profissionais de anatomia patológica, se verificou um aumento da mortalidade por leucemia. Apesar destes resultados, contudo, não existe uma clara evidência que permita estabelecer uma relação causal entre o aparecimento de leucemia e a exposição profissional a formaldeído (*International Agency for Research on Cancer, 2005, 2006; Zhang, Steimaus e Eastmond, 2009*).



Referência	Tipo de estudo	Resultados mais relevantes
Pinkerton, Hein e Stayner (2004)	Coorte 11039 Trabalhadores da indústria têxtil em 3 fábricas	Mortalidade mais elevada significativamente no grupo exposto há 20 anos ou mais.
Collins e Lineker (2004)	Meta-análise 18 Estudos epidemiológicos desenvolvidos em diferentes contextos ocupacionais	Aumento do risco relativo de leucemia nos embalsamadores e nos patologistas e anatomistas.
Hauptmann, Lubin e Stewart (2003)	Coorte 25619 Trabalhadores em 10 fábricas de produção de formaldeído, resinas, moldagem de plásticos, filmes fotográficos e laminados (< 1966 -1994)	Risco relativo significativamente maior para mortalidade por leucemia nos expostos a picos elevados de concentração.
Blair, Zheng e Linos (2001)	Caso-Controlo 513 Casos e 1087 controlos	OR=2,9 para indivíduos com exposição elevada Casos e controlos foram emparelhados pela escolaridade, hábitos tabágicos e uso de pesticidas
Partanen, Kauppinen e Luukkonen (1993)	Caso-Controlo 12 Casos retirados de uma coorte de 7307 trabalhadores da indústria da madeira 79 Controlos	OR=1 OR=1,40 para exposições superiores a 3 meses Ajustado para a exposição a solventes e poeiras da madeira
Linos, Blair e Cantor (1990)	Caso-Controlo 578 Casos e 1245 controlos	OR = 2,1 Risco significativamente elevado para leucemia aguda mielóide Ajustado para a idade

Fonte: International Agency for Research on Cancer (2006)

**Figura 2.8: Alguns estudos epidemiológicos indiciando a carcinogenicidade do formaldeído (leucemia).**

No âmbito da classificação dos agentes químicos cancerígenos, tem vindo a ser discutida a necessidade de a classificação ser baseada nos mecanismos que provocam os efeitos cancerígenos e devendo considerar igualmente a potência desses mecanismos. Recentes investigações desenvolvidas neste âmbito apontam para que a classificação seja realizada não apenas na diferença entre os agentes cancerígenos “não genotóxicos” e genotóxicos”, mas também para estes últimos, entre os que apresentam um limiar para os efeitos para a saúde e os que não possuem este limiar definido (Bolt, 2003; Hengstler, Bogdanffy e Bolt, 2003; Bolt, Foth e Hengstler, 2004; Bolt e Huici-Montagud, 2008). No entanto, só é possível a aplicação deste limiar para os agentes químicos em que existe suficiente e adequada informação advinda de estudos experimentais, permitindo conhecer detalhadamente os seus mecanismos de acção e toxicocinética (Bolt e Huici-

Montagud, 2008). A existência destes limiares permite uma caracterização do risco mais detalhada e, posteriormente, uma gestão do risco mais orientada para o controlo efectivo da exposição.

O formaldeído está enquadrado nestes agentes químicos, estando indicado como um agente químico cancerígeno genotóxico com um limiar praticável, dado os efeitos estarem fortemente dependentes da dose. Esta associação está devidamente suportada por estudos experimentais desenvolvidos sobre os seus mecanismos de acção e toxicocinética (Morgan, 1997; Hengstler, Bogdanffy e Bolt, 2003; McGregor, Bolt e Cogliano, 2006; Bolt e Huici-Montagud, 2008). Desta forma, os limites de exposição podem ser baseados nos efeitos para a saúde e serão definidos através da aplicação do NOAEL (*no observed adverse health effect*) existente (Morgan, 1997; Bolt, 2003; Bolt e Degen, 2004; Bolt, Foth e Hengstler, 2004; Bertazzi e Mutti, 2008; Bolt e Huici-Montagud, 2008).

Esta situação deve-se ao facto dos efeitos da exposição serem locais e corresponderem a acontecimentos biológicos adversos específicos para cada concentração de formaldeído em que se verifica a exposição. O dano nos tecidos e a proliferação celular no local de primeiro contacto (nasofaringe) são alguns dos acontecimentos biológicos adversos que conduzem ao desenvolvimento de cancro nasofaríngeo no caso da exposição a formaldeído (Bolt, Foth e Hengstler, 2004).

Assim, a existência deste limiar, baseado em acontecimentos biológicos adversos específicos e na identificação dos tecidos alvo, faculta dados de grande relevo para proceder à avaliação quantitativa do risco (*Proceedings of the ECETOC-EEMS, 2000; Bolt, Foth e Hengstler, 2004*). Permitem determinar a relação dose-efeito entre a concentração e a resposta biológica, sendo este um elemento chave para avaliar a relação entre estes dois factores (*Kirsch-Volders, Aardema e Elhajouji, 2000*).

### **3. Intervenção no âmbito da Saúde Ocupacional**

Entendido que a exposição profissional a formaldeído constitui um risco para a saúde dos trabalhadores expostos, é determinante que esse mesmo risco seja, em cada situação concreta, entendido e avaliado.

Tal avaliação implica, contudo, a clareza dos seus próprios interesses, assegurando-se o primado de que tem por principal objectivo o de prevenir o próprio risco, devendo este, quando não possa ser eliminado, ser atenuado e o risco residual controlado (*Uva e Faria, 2000*).

Em Saúde Ocupacional, todo este percurso objectivado para a prevenção das doenças profissionais (ou mesmo ligadas ao trabalho) assenta metodologicamente em quatro pilares fundamentais: o estudo das situações de trabalho; o diagnóstico das situações de risco; a selecção dos indicadores de exposição mais pertinentes para a monitorização de cada situação; por fim, a definição dos decorrentes programas de prevenção (*Uva e Faria, 2000*).

#### **3.1 Estudo das situações de trabalho**

Analisar as situações de trabalho, entender o seu contexto, o que nelas está em causa, como e de que modo no seu âmbito podem ser afectadas a saúde e a segurança dos trabalhadores é etapa inicial indispensável ao objectivo de desenvolvimento de qualquer intenção preventiva. Quais os elementos potencialmente agressivos da saúde (factores de risco), como se relacionam com os trabalhadores, que estratégias estes desenvolvem para com eles lidar e quais as possíveis consequências (risco) em causa, são respostas só possíveis de atingir satisfatoriamente através de uma análise das situações de trabalho, concretizada segundo modelos e métodos cientificamente assegurados.

Num entendimento de que as situações de trabalho se desenvolvem tendo por ponto central o Homem, a Análise (global) do Trabalho, numa perspectiva ergonómica, constitui um instrumento essencial à compreensão dos fenómenos que caracterizam o risco de exposição a factores adversos para a saúde e segurança dos trabalhadores numa situação real de trabalho.

Como orientação metodológica teve por principal ponto de partida e de inspiração a obra de André Ombredane e Jean-Marie Faverge "L'analyse du travail", publicada em 1955, desenvolvendo-se a partir de então de modo a constituir hoje um elemento extremamente original e característico da Ergonomia (*Faria, 2009*).

Trata-se de uma abordagem sistémica e integradora das situações reais de trabalho, centrada no Homem em actividade e na sua relação com todos os elementos presentes; no essencial, pretendendo compreender todo o envolvimento e antecipar eventuais efeitos adversos, quer sobre o homem, quer sobre o sistema, no sentido de os prevenir. Caracteristicamente coloca o enfoque central no trabalho humano, sendo este considerado como a actividade concreta dos operadores (aquilo que na realidade fazem) quando e enquanto confrontados com as tarefas que têm que desempenhar (*Faria, 1987; Kapitaniak, 1994; Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009*).

A análise ergonómica do trabalho procura dar resposta a questões fundamentais como “Qual o trabalho a executar?”, “Como é que o operador executa o trabalho?”, afastando-se das metodologias mais tradicionais, que se limitam a enumerar o que o trabalhador devia fazer (tarefa) e não o que realmente faz (actividade), ou seja, considerando o trabalho prescrito e não o trabalho real. Segundo Rabardel, Carlin e Chesnais (1998), a actividade realizada pelos trabalhadores é muito diferente daquela que está prescrita, porque os seus comportamentos correspondem a exigências e condições não previstas (temperatura, iluminação, disfuncionamentos técnicos. Esta diferença, só evidenciada pela abordagem numa perspectiva ergonómica, revela-se essencial para a compreensão da adequação, ou não, do trabalho às características dos operadores.

A tarefa (aquilo que é requerido ser feito naquelas circunstâncias) antecede a actividade e visa orientá-la e determiná-la de uma forma mais ou menos completa. A actividade pode definir-se como aquilo que é posto em funcionamento pelo indivíduo para executar a tarefa (*Leplat e Hoc, 2005*).

Apesar de, à primeira vista, as diferenças parecerem situar-se essencialmente no plano conceptual, na realidade existem profundas divergências entre o esperado e o real. Assim, de forma sequencial, importa conhecer a tarefa para ser possível analisar e caracterizar a actividade e perceber essas diferenças (*Leplat e Hoc, 2005; Wisner, 2005b*). Por outras palavras, à tarefa (prescrito) corresponde o que se tem que fazer, onde, com quê e de que modo. A actividade é a resposta que o trabalhador dá a essas mesmas exigências – o que faz e como faz (*Faria, 1987; Prista, 1987*).

De um modo muito particular, a análise ergonómica do trabalho contempla, entre outros elementos importantes, os aspectos das características do trabalhador e da variabilidade individual. Visa identificar o próprio operador (as suas capacidades e limitações físicas e/ou psicológicas), em particular no contexto da interacção com os outros elementos (por exemplo, um objecto, ferramenta,

equipamento ou posto de trabalho), em particular nestes aspectos assumindo que a resposta é individual. O estudo da diversidade dos indivíduos permite identificar, por exemplo, as dificuldades resultantes da utilização dos mesmos meios de trabalho por diferentes trabalhadores permitindo, posteriormente, adequá-los aos diversos utilizadores, quer na componente física, quer cognitiva (*Daniellou, 2005; Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009*).

Integra igualmente as variações do sistema técnico e organizacional, contemplando aspectos ao nível da produção (quantitativa e qualitativa), dos equipamentos e seus interfaces com o utilizador, dos horários, ritmos e exigências pontuais, das relações funcionais a montante e a jusante, das consequências das avarias, disfuncionamentos e imprevistos.

Assim, a situação real de trabalho deverá ser estudada partindo daquilo que a condiciona, o que pressupõe uma análise objectiva das condicionantes humanas, ambientais, técnicas e organizacionais (*Prista, 1987*).

Uma situação de trabalho pode ser considerada como um sistema tarefa-indivíduo. Analisar uma situação será analisar este sistema, o seu funcionamento e a interacção entre os dois elementos. A actividade é a expressão desta interacção. Nesta perspectiva, pode pensar-se que uma parte da actividade nunca será espontânea, pois é conduzida e definida pela tarefa, mas haverá sempre uma parte da tarefa susceptível de ser modificada pelo indivíduo durante a preconização da sua actividade (*Leplat e Hoc, 2005*).

Para alcançar os seus objectivos, a análise do trabalho obriga a permanecer longos períodos nas situações de trabalho para recolher informação detalhada que permita definir e enquadrar o problema, que nem sempre é formulado com clareza (*Wisner, 2005a*). Pode afirmar-se que as metodologias de análise da actividade de trabalho recorrem, entre outras, a técnicas que decompõem o trabalho em acontecimentos distintos e sucessivos, permitindo a observação de detalhes como, por exemplo, a postura adoptada no desempenho da actividade de trabalho. Dessa forma, permite a quantificação precisa da exposição a factores de risco, contribuindo para o desenvolvimento de planos e programas de prevenção (*Direcção-Geral da Saúde, 2008*).

Tendo em consideração que toda a actividade terá componentes observáveis (físicos) e não observáveis (mentais), podem recorrer-se a três tipos de técnicas: as observações (simples ou assistidas), a recolha de verbalizações (espontâneas ou provocadas, particularmente importantes na pesquisa da actividade não observável) e, ainda, a utilização de simulações, que permitem compreender uma situação de trabalho quando não susceptível de observação directa (*Christol e Mazeau, 1995*). A observação directa (instantânea ou diferida) de uma situação de

trabalho é um dos métodos utilizados mais antigos, consistindo em observar a actividade desenvolvida num posto de trabalho e descrevendo-a da forma mais objectiva possível (*Kapitaniak, 1994*).

Mergulhando na componente observável da actividade, são vários os aspectos que importa considerar, designadamente a possibilidade de identificação dos factores de risco e o contributo para a caracterização da exposição a esses factores. Assim, os detalhes observados da exposição a cada factor de risco em particular constituem elementos substantivos para a subsequente avaliação dessa exposição. Alguns desses aspectos são mesmo extremamente importantes, quer para a referida avaliação da exposição, quer para a consequente avaliação do risco. Referem-se, como exemplos a este propósito: a proximidade à fonte emissora do poluente ou os modos operatórios que potenciam a exposição; a carga de trabalho imposta que influencia, entre outros, a frequência cardiorespiratória e, dessa forma, a dose absorvida; e as condições de temperatura e humidade que condicionam a exposição a um agente químico volátil (*Truchon, 2004; Denis, St-Vincent e Jetté, 2005; Tardif, Charest-Tardif e Truchon, 2008*).

É, com frequência, justificável e desejável o recurso a mais contributos para a realização da análise ergonómica do trabalho. É o caso das verbalizações (provocadas), confrontando-se o trabalhador com os dados recolhidos sobre o seu comportamento, atitudes ou modos operatórios, no sentido de esclarecer questões baseadas directamente nos dados observados da actividade e que de outra forma seriam incompreendidas, i.e., para se obter a justificação pelo próprio sobre a forma de concretizar determinada actividade. Igualmente a utilização de registos da actividade em vídeo pode ser, quando possível, desejável para a auto-confrontação, contribuindo para uma mais completa compreensão do trabalho (*Wisner, 2005a*). Esta metodologia de análise do trabalho visa, no essencial, evidenciar o conjunto de elementos que interagem entre si na situação de trabalho, designadamente (*Kapitaniak, 1994; Daniellou, 2005; Leplat e Cuny, 2005*):

- 1) As condicionantes do trabalho (onde se incluem o ambiente de trabalho e os diversos factores de risco ambientais de natureza física, química e biológica; o dispositivo técnico, incluindo designadamente as máquinas e ferramentas, instalações, matérias-primas; as condições organizacionais, incluindo múltiplos elementos como os objectivos do trabalho e os horários de trabalho, as normas e regras que afectam o desenvolvimento do trabalho, bem como os sistemas hierárquicos vigentes ou os graus de autonomia em causa; e as características individuais dos trabalhadores que possam interessar ao âmbito da análise em causa, independentemente da natureza biológica, psicológica

ou social (idade, sexo, características antropométricas, formação profissional, capacidade física individual, patologias,...), psicológico, social e a existência de patologias prévias;

- 2) A actividade de trabalho, ou seja, a resposta do trabalhador às solicitações que lhe foram apresentadas (meios de trabalho disponíveis e objectivos de produção), nas condições proporcionadas e às quais deve responder (cognitiva e fisicamente) para atingir os objectivos prescritos;
- 3) Os resultados ou efeitos da actividade sobre o trabalhador (na sua saúde, segurança e conforto) e sobre o sistema produtivo (por exemplo, quantidade e qualidade da produção).

O objecto central desta análise situa-se, naturalmente, na actividade – o que se faz. E analisar esta actividade real do trabalhador será, em primeiro lugar, proceder à sua correcta descrição mediante o recurso aos métodos e técnicas mais adequados a cada caso concreto mas, também e principalmente, compreendê-la e interpretá-la, situando-a no quadro das suas relações com os restantes factores da situação de trabalho, identificando aqueles que a condicionam ou determinam e estudando os efeitos ou consequências que dela resultam para o trabalhador (*Prista, 1987*).

E apenas a análise da actividade real de trabalho (etapa fulcral da análise ergonómica do trabalho) permite salientar as dificuldades concretas do trabalhador, a percepção das exigências colocadas e as estratégias adoptadas para a concretização do trabalho (componente cognitiva, criativa e decisional que o trabalho determina a todo o momento e em todas as situações) (*Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009*).

De forma sumária, pode considerar-se que as características essenciais da análise do trabalho sob a perspectiva da ergonomia da actividade humana residem: 1) na sua incidência sobre o trabalho real, 2) na abordagem das situações de trabalho na sua globalidade, 3) no objectivo de tornar inteligíveis as inter-relações existentes entre os níveis de análise (condicionantes, actividade e resultados), para atingir o diagnóstico e, por fim, 4) na obrigação de identificar os pontos e orientações das necessidades de intervenção correctiva a implementar ao nível das condicionantes do trabalho (*Faria, 1987; Prista, 1987*).

A análise do trabalho, em ergonomia, só tem sentido se perspectivada para a correcção das situações alvo de estudo, no sentido de melhor as adaptar às características dos trabalhadores. Mas para intervir importa, primeiro, conhecer o que está em causa.

O processo de diagnóstico da situação de trabalho permite, entre outros, contribuir para a identificação da importância de um pormenor no funcionamento (ou disfuncionamento) de um sistema. Em simultâneo, coloca em evidência a natureza do compromisso que intervém na elaboração dos modos operatórios pelos trabalhadores, identificando igualmente, a forma como estes compromissos podem ser harmoniosos ou, em parte, um fracasso, tendo como consequências eventuais agressões para a saúde e/ou uma produção abaixo do desejado, quer qualitativa, quer quantitativamente (*Christol, 2005; Daniellou, 2005*).

A análise do trabalho, em conjunto com a avaliação do risco e precedendo-a, permite identificar, pela confrontação entre a tarefa e actividade, entre outros, os disfuncionamentos da organização e prever ou antecipar, por exemplo, aspectos de insegurança, de risco para a saúde dos trabalhadores e para o sistema. No essencial, a análise do trabalho é fundamental para se obter o “diagnóstico da situação real de trabalho” e passar às etapas seguintes de gestão do risco ou de prevenção e de promoção da saúde dos trabalhadores nos locais de trabalho (*Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009*).

Em suma, do diagnóstico da situação, desenvolvido com base na metodologia ergonómica, resulta o conhecimento real da situação de trabalho e a identificação dos detalhes substantivos na exposição a factores de risco. Essa abordagem permite que se delineiem propostas de acções correctivas que, ressaltando um conjunto de elementos que interagem entre si, designadamente o trabalhador, as condições de trabalho, a actividade de trabalho e os efeitos sobre o Homem e sobre o sistema, permitem a interpretação da importância de cada factor de risco de natureza profissional e do benefício da introdução de medidas correctivas, no sentido de obter a harmonia entre o Homem e o seu trabalho (*Serranheira, Uva e Lopes, 2008*).

Tendo por objectivo “a melhoria do trabalho e não apenas a sua descrição” (*Montmollin, 1992*), a ergonomia exige que da análise do trabalho resulte intervenção correctiva sobre as condições de trabalho.

Os objectivos de intervenção da ergonomia através da análise do trabalho são, assim, orientados para a necessidade de modificar as condições de trabalho e avaliar e validar essas modificações, garantindo a segurança e a preservação do estado de saúde do trabalhador (*Faria, 2009*).

Considerando as características metodológicas da análise ergonómica do trabalho, entende-se a sua importância relativamente à caracterização da exposição a um factor de risco profissional de natureza química.

O esclarecimento de questões como quem, onde, com quê e o que é que tem que ser feito, aquilo que é efectivamente feito e como é concretizado, constitui



um patamar de intervenção indispensável ao delinear de uma adequada estratégia de quantificação e avaliação da exposição e das pertinentes metodologias por que optar.

A análise do trabalho permite obter informações essenciais para a definição de uma estratégia de medição adequada, situação particularmente importante quando lidamos com um agente químico que apresenta como referencial uma concentração máxima e o facto dos efeitos para a saúde estarem associados ao local de primeiro contacto do agente químico (*Poirot, Subra e Gérardin, 2004; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Por outras palavras, no contexto do diagnóstico do risco, na exposição profissional a agentes químicos, a análise ergonómica do trabalho assume a particular importância de ser o veículo que permite identificar e inter-relacionar as diversas variáveis e componentes de cada situação de trabalho e de evidenciar as particularidades e os detalhes que exercem influência sobre a exposição ao agente químico em causa.

E é igualmente o resultado desta análise que irá permitir a definição de adequadas e pertinentes medidas de prevenção e controlo da exposição, dado que a sua eficácia, para além da aplicabilidade técnica, muito depende do seu ajustamento às concretas realidades presentes. São disso exemplo, entre outras, a definição de procedimentos de segurança, a implementação de sistemas de controlo ambiental, a normalização do tempo de exposição do trabalhador, a necessidade de controlo adicional de parâmetros ambientais como a temperatura e humidade, a intervenção em exigências como as que determinam a carga de trabalho física, desenvolvida nesses contextos.

A importância destes aspectos, refira-se, merece actualmente o destaque de um campo de acção específico, a Ergotoxicologia, intervenção particular da ergonomia no âmbito e aspectos específicos das situações de exposição a agentes químicos (*Mohammed-Brahim e Garrigou, 2009*).

A partir de uma análise da actividade de trabalho, a Ergotoxicologia visa conhecer as situações de exposição dos trabalhadores a factores de risco de natureza química. Numa segunda fase, procura caracterizar as formas de contacto com o agente químico, ou seja, as potenciais vias de penetração no organismo e isso em função das características físico-químicas do agente químico em estudo e da actividade de trabalho realizada. Com esta intervenção é possível identificar os determinantes das situações de trabalho, quer sejam de ordem técnica, humana ou organizacional e, posteriormente, elaborar as soluções de prevenção com o objectivo de transformar esses determinantes e eliminar ou minimizar a exposição (*Garrigou, Baldi e Dubuc, 2008*).

### 3.2 Diagnóstico e avaliação do risco

Em Saúde Ocupacional, a avaliação do risco (*risk assessment*) proporciona informação da maior utilidade, ou até imprescindibilidade, para a concretização dos próprios objectivos.

Com a avaliação do risco pretende quantificar-se a probabilidade de um agente químico específico originar um efeito adverso para a saúde dos indivíduos expostos. Os seus resultados são ainda de grande importância para objectivos adicionais, designadamente a disponibilização de informações que permitam fundamentar a criação de regulamentação nesta área, a identificação de falhas na informação disponível, a criação de programas formativos e de comunicação do risco, a definição de estratégias e programas de vigilância da saúde e, por fim, a definição de necessidades em matéria de tecnologia que permitam minimizar a exposição (*Smith, Christiani e Kelsey, 1994; Watson e Mutti, 2004; Gochfeld e Burger, 2008*).

Sendo múltiplos os factores que há que ter em conta na avaliação de um risco profissional de natureza química, poderão considerar-se três grupos principais: os relacionados com as próprias características do agente químico considerado; os derivados do seu modo de utilização e das características e níveis da exposição; e, ainda, os que respeitam às características dos indivíduos expostos.

A avaliação (e a gestão) dos riscos profissionais, numa óptica da saúde e da segurança no trabalho, exige o conhecimento das especificidades de cada factor de risco em causa, designadamente as suas propriedades e características, a sua capacidade para produzir efeitos adversos no organismo (toxicidade), o modo como interage com o organismo (toxicocinética e toxicodinâmica), a correspondência entre os níveis absorvidos e os efeitos determinados nos indivíduos expostos (relações dose-resposta e dose-efeito). Implica igualmente a caracterização qualitativa e quantitativa da forma, natureza e dimensão do contacto da substância com a população exposta, considerando todas as fontes de exposição, ocupacionais e não-ocupacionais (*Read, 2000; IPCS, 1999, citado por Prista e Uva, 2003; Watson e Mutti, 2004; Greim e Snyder, 2008*).

É neste contexto que a actual perspectiva da "Avaliação e Gestão do Risco em Saúde Ocupacional" define de forma integrada um procedimento de actuação que prevê a intervenção de diversas áreas disciplinares, designadamente a Medicina do Trabalho, a Higiene do Trabalho e a Segurança do Trabalho (*Herber, Duffus e Christensen, 2001; Uva, 2006*).

Numa situação de exposição profissional a agentes químicos (tal como na exposição a outros factores de risco), um longo e complexo caminho há a percorrer na procura do entendimento daquela realidade, na valorização do risco que constitui para a saúde e segurança dos trabalhadores expostos, na definição e implementação de medidas que visem eliminar ou minimizar a exposição.

De modo sistematizado, importa sucessivamente: 1) identificar o factor de risco (processo de reconhecimento, caracterização e definição das características do factor de risco); 2) efectuar a avaliação da dose-resposta (em que se pretende conhecer a relação entre a exposição e as suas repercussões para o organismo, pressupondo a definição dos indicadores adequados); 3) avaliar a exposição (desejavelmente de modo quantificado); 4) caracterizar o risco (utilizando a informação obtida nas etapas anteriores; e, por fim, 5) gerir o risco – objectivo essencial e centrado na prevenção dos efeitos adversos para a saúde e segurança do trabalhador, finalidade principal da intervenção da Saúde Ocupacional (*Raafat e Sadhra, 1999; Herber, Duffus e Christensen, 2001; Boyle, 2003; Watson e Mutti, 2004; Goldstein, 2005; Uva, 2006; Greim e Snyder, 2008*).

A primeira fase da análise do risco – identificação do factor de risco (*hazard identification*) – consiste no reconhecimento da existência do factor de risco e da sua caracterização. É um processo que, em contexto laboral, normalmente se apresenta dificultado pela presença simultânea de vários agentes químicos no ambiente trabalho, havendo necessidade de identificar o que apresenta maior preocupação em termos de efeito adverso para a saúde dos trabalhadores (*Stewart e Stenzel, 2000; Greim e Snyder, 2008*).

Pretende-se, nesta etapa, identificar os diversos factores de risco de natureza profissional e avaliar os efeitos negativos comprovados recorrendo, por exemplo, à listagem de produtos químicos utilizados no processo produtivo, à informação sobre os próprios processos e à caracterização do tipo de exposição (*Herber, Duffus e Christensen, 2001; Uva, 2006*). Outros autores, entretanto, defendem que o processo de avaliação de riscos decorrente da exposição a agentes químicos passará também, nesta fase, por identificar qual a molécula e o tecido biológico com que este apresenta particular afinidade (*Goldstein, 2005*).

A relação dose-resposta (ou dose-efeito-resposta) pretende descrever a relação entre a dose de um agente químico e a resposta que provoca nos indivíduos expostos, podendo ser expressa pela intensidade ou pela percentagem de indivíduos afectados por um efeito adverso. É um elemento crítico da avaliação do risco porque define a probabilidade ou o grau de resposta a diferentes níveis de exposição (*Cross e Faux, 1999; Prista e Uva, 2002; Watson e Mutti, 2004*).

Para alguns autores existe sempre um certo grau de incerteza no processo de avaliação e gestão do risco, por ser frequente a extrapolação dos dados referentes particularmente à exposição e à susceptibilidade dos indivíduos, aspectos que apresentam sempre alguma variabilidade. A avaliação da relação dose-resposta apresenta igualmente alguma incerteza, dado basear-se em dados obtidos essencialmente através de estudos experimentais com a consequente extrapolação para o Homem (*Rodricks, Rudenko e Starr, 1997*).

O estabelecimento desta associação exige critérios que comprovem a relação causal, que passam por variados aspectos intrínsecos ao nexo que pode ser estabelecido entre o trabalho e os efeitos potenciais, nomeadamente a consistência da associação, a intensidade da associação, a relação entre a dose de exposição e o risco, a relação temporal entre a exposição e a doença e a consistência da explicação do efeito em termos biológicos (*Uva, 2006*).

É neste contexto que se inclui a selecção dos indicadores de exposição mais adequados, sendo que para cada factor de risco identificado se tem que proceder à avaliação da relação entre a intensidade de exposição (ou dose) e os efeitos adversos que determinam (*Hayes, 2001; Uva, 2006*).

O conhecimento das relações existentes entre a exposição profissional e as repercussões para a saúde obtém-se pelo estudo simultâneo da exposição e dos correspondentes efeitos, sendo necessário para o efeito a caracterização de alguns parâmetros, como a relação exposição-efeito (relação entre a intensidade ou dose de exposição e a intensidade de um determinado efeito) ou a relação exposição-resposta (relação entre a intensidade ou a dose de exposição e a proporção de indivíduos expostos que apresentam um efeito de natureza e intensidade predeterminadas) (*Hayes, 2001; Prista e Uva, 2002*).

A posterior caracterização do risco, perspectivada na necessidade do seu controlo (ou gestão), conduz à necessidade de hierarquizar, ou arrumar, diversas componentes de apreciação do risco (*risk hierarquization*). Trata-se de um processo de atribuição de níveis (*score*), apreciando e associando factores que identifiquem a componente gravidade dos efeitos e aspectos relativos à frequência dessa ocorrência (*cf. Figuras 3.1, 3.2 e 3.3*) (*Raafat e Sadhra, 1999; Uva, 2006*).

<b>Categorização da Gravidade</b>	<b>Consequências para a saúde e segurança</b>
1 - Risco Ligeiro	Lesão resolúvel
2 - Risco Médio	Lesão que necessita de intervenção médica
3 - Risco Considerável	Lesão grave
4 - Risco Grave	Consequência mortal provável
5 - Risco Muito Grave	Muitos (ou alguns) óbitos

*Adaptado de University of Queensland (2005), citado por Uva (2006)*

**Figura 3.1: Categorização da gravidade dos efeitos.**

<b>Categorização da Frequência</b>	
1 - Muito raro	Possível, mas nunca ocorreu
2 - Raro	Ocorrência rara, mas já tendo acontecido
3 - Pouco frequente	Ocorrência entre uma vez por mês e uma vez por ano
4 - Frequência média	Ocorrência uma vez por semana
5 - Frequente	Ocorrência uma vez por dia
6 - Muito Frequente	Ocorrência várias vezes ao dia

*Adaptado de University of Queensland (2005), citado por Uva (2006)*

**Figura 3.2: Categorização da frequência dos efeitos.**

<b>Categorização da Probabilidade de Ocorrência</b>	
1 - Possibilidade muito remota	Probabilidade muito remota, mas possível
2 - Possibilidade remota	Probabilidade remota
3 - Pouco provável mas possível	Pouco provável
4 - Possível	Muito provável (até 50% de probabilidade)
5 - Quase Certo	O resultado mais provável se se der a ocorrência.

*Adaptado de University of Queensland (2005), citado por Uva (2006)*

**Figura 3.3: Categorização da probabilidade de ocorrência.**

Três aspectos essenciais relacionados com a exposição devem ser considerados para a avaliação de eventuais efeitos adversos: a intensidade da exposição, a duração da exposição e, por fim, a frequência com que ocorre essa exposição (Hayes, 2001; International Programme on Chemical Safety, 2001).

A avaliação da exposição concretiza-se pelo recurso à apreciação (preferencialmente quantitativa) da intensidade do factor de risco com que o organismo se confronta e/ou dos respectivos reflexos no organismo exposto.

É uma fase integradora da informação obtida, através de avaliação ambiental e/ou biológica, que permite confrontar a exposição identificada ao longo do tempo com uma referência, possibilitando a posterior estimativa do risco (*U.S. Environmental Protection Agency, 1992; Lin, Kupper e Rappaport, 2005; Uva, 2006*).

A caracterização do risco é a última fase do processo de diagnóstico do risco (*risk assessment*) e consiste na combinação dos dados obtidos na avaliação da exposição profissional e dos potenciais efeitos para a saúde dos indivíduos expostos. Prevê a realização de uma estimativa do risco, tendo como principais objectivos a determinação da fonte, do tipo, da intensidade e do tempo de exposição ao factor de risco (*International Programme on Chemical Safety, 2000; Goldstein, 2005; Uva, 2006*).

É um processo que objectiva estimar a incidência e severidade do efeito adverso na saúde devido a uma exposição, actual ou prevista, em contexto ocupacional. E, nesse sentido, permite desenvolver a gestão do risco, definindo e atribuindo prioridades às estratégias de controlo e comunicação do risco (*Raafat e Sadhra, 1999; Van Leeuwen, Vermeire e Vermeire, 2007*).

No caso da exposição a agentes químicos, a caracterização do risco tem em consideração as características do agente químico em estudo, designadamente a sua toxicidade (aguda ou crónica), os efeitos irritantes e sensibilizantes, a genotoxicidade e a carcinogenicidade, a toxicidade reprodutiva e, ainda, a sua toxicocinética e mecanismo de acção (*International Programme on Chemical Safety, 1999; Prista e Uva, 2003; Goldstein, 2005; Greim e Snyder, 2008*).

Com base nestas classificações é possível identificar um nível de risco ou apresentar os resultados integrados num quadro de dupla entrada que determina essa escala categorial de risco. Esses níveis de risco permitem definir prioridades de intervenção no que concerne à aplicação de medidas de controlo do risco (*cf. Figura 3.4*).

Score	Acção
Risco muito elevado	Actuação emergente
Risco elevado	Actuação imediata
Médio	Actuação logo que possível
Baixo	Sem necessidade de actuação, mas vigilância
Muito Baixo	Sem necessidade de actuação

*Adaptado de University of Queensland (2005), citado por Uva (2006)*

**Figura 3.4: Categorização do escalonamento de medidas preventivas.**

Desta forma, o risco em contexto laboral pode ser interpretado como a combinação da probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso, ou exposição a um factor de risco, com a severidade da lesão ou doença que pode ser causada pelo acontecimento ou exposição (British Standards, 2007 [18001:2007]).

Se à Saúde Ocupacional compete a prevenção dos riscos profissionais, a avaliação do risco só importará na medida em que determinar intervenções correctivas face a uma apreciação de não aceitabilidade.

A gestão do risco consiste, assim, em determinar as formas de intervenção para a eliminação desse risco ou a sua redução a um nível considerado aceitável. Trata-se de um processo de tomada de decisão sobre as acções que devem ser desenvolvidas para reduzir ou eliminar um determinado efeito adverso para a saúde (Uva, 2006; Leeuwen, Vermeire e Vermeire, 2007).

Como exemplo de medidas que poderão ser desenvolvidas em programas de gestão do risco podem citar-se a substituição do agente químico por um que apresente menor toxicidade, medidas de controlo do risco no domínio da engenharia (e.g., os sistemas de ventilação localizada ou geral) e, por último, como opção a tomar quando as restantes não são passíveis de ser adoptadas a curto prazo ou, como medida complementar das anteriores, a utilização de equipamentos de protecção individual.

### **3.3 Avaliação e vigilância da exposição profissional**

A exposição profissional define-se como a condição em que um determinado agente químico contacta o organismo humano no contexto da sua actividade profissional (U.S. Environmental Protection Agency, 1992; Hayes, 2001; Harper, 2004).

Uma adequada avaliação da exposição terá que compreender a caracterização das vias, duração e intensidade com que se verifica o contacto do indivíduo com a substância em estudo. A não observância destes elementos impossibilita a determinação da associação entre o contacto e o efeito na saúde (Hayes, 2001; Herber, Duffus e Christensen, 2001; Semple, 2005; Greim e Snyder, 2008).

Mas implica, de igual modo, a valorização de elementos diversos, como são os casos das características dos indivíduos expostos (diferentes susceptibilidades individuais, capacidades físicas, hábitos e estilos de vida,...), do tipo de tarefas desenvolvidas e exigências fisiológicas determinadas, da concomitância com outros factores de risco, designadamente com repercussões ambientais, da organização do

trabalho, nomeadamente no que respeita a pausas e turnos, dos sistemas de protecção e de prevenção disponíveis e da sua utilização, entre outros (*Prista e Uva, 2003; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

A avaliação da exposição profissional incide sobre dois alvos essenciais: o ambiente de trabalho e o organismo do trabalhador. A vigilância ou monitorização centrada na quantificação do agente químico em ambos os “compartimentos” do processo de exposição constitui, assim, um elemento determinante da avaliação da exposição.

### **3.4 Monitorização ambiental**

Embora os termos vigilância e monitorização (*surveillance* e *monitoring*, na língua inglesa), em essência, representem diferentes formas de actuação são, habitualmente, utilizados como sinónimos. Para os efeitos do presente texto assume-se, entretanto, esta semelhança, considerando, como acordado entre a Comissão Europeia (CE), o *National Institute for Occupational Health* (NIOSH) e a *Occupational Health and Safety Administration* (OSHA), que por Monitorização se entende o conjunto de acções sistemáticas, contínuas ou repetitivas, direccionadas para estabelecer, se necessário, medidas de correcção (*Prista e Uva, 2006*).

A Monitorização Ambiental consiste na “medição e avaliação dos agentes nos locais de trabalho avaliando a exposição e o risco para a saúde por comparação com referenciais apropriados” (*Hoet, 1996, p. 1*).

Na última década, a monitorização ambiental da exposição tem sofrido evoluções significativas, verificando-se uma importante evolução tecnológica que lhe tem permitido facultar dados mais detalhados para uma mais exacta avaliação do risco. Basicamente a evolução tem sido no sentido de substituir as medições de área por estudos de microambientes e, em algumas situações, pelo estudo das exposições individuais a um factor de risco (*Goldstein, 2005; Wild, Vineis e Garte, 2008*).

Enquanto componente do processo de avaliação do risco, só é concebível ligada à implementação de medidas de prevenção e protecção, devendo ser preconizada, pelo menos, em quatro situações – sempre que se desconheçam os níveis de exposição, quando se introduzem alterações tecnológicas, antes e após a introdução de medidas correctivas e sempre que se observe sintomatologia inesperada nos trabalhadores expostos (*Uva, 2006*). Nestes contextos e em termos específicos, à monitorização ambiental da exposição compete proporcionar dados que permitam identificar os factores de risco, desenvolver estudos epidemiológicos,



seleccionar e avaliar a estratégia de controlo da exposição (*Sadhra e Gardiner, 1999*).

A monitorização de substâncias químicas no ambiente de trabalho foi considerada durante muito tempo como o único modo de adquirir conhecimento conducente a prevenir efeitos indesejáveis para a saúde dos trabalhadores expostos. Segundo a Fundação Nacional de Saúde Brasileira (FUNASA), na avaliação da exposição profissional aos agentes químicos a monitorização do ar do ambiente de trabalho é a metodologia mais utilizada, considerando que a via inalatória representa a principal via de penetração dos tóxicos (*Câmara, 2002*).

Assim, a monitorização (ou vigilância) ambiental baseia-se na determinação da concentração do tóxico no ar do ambiente de trabalho (indicador de dose externa), utilizando como critério de aceitabilidade os designados valores máximos admissíveis (VLE – Valores Limite de Exposição; TLV – Threshold Limit Values; OEL – Occupational Exposure Limits; MAK – Maximale Arbeitsplatz Konzentration), que representam a maior concentração (dose) de uma substância química a que a quase totalidade dos trabalhadores pode estar exposta, ao longo do dia de trabalho, sem que daí resulte efeito adverso para a saúde (*Prista e Uva, 2006*).

Estes valores-limite para a exposição são normalmente formulados segundo três diferentes tipos:

(1) a Concentração-Máxima (VLE-CM – concentração máxima; TLV-C – *ceiling*; OEL – C) definida como o valor de concentração que nunca deve ser excedido;

(2) a Concentração Limite de Curta Duração (VLE-CD, TLV-STEL – *short term exposure level*), máxima concentração a que um trabalhador pode estar exposto durante 15 minutos e que não pode repetir-se mais do que 4 vezes por dia;

e (3) a Concentração Média Ponderada (VLE-MP – média ponderada; TLV-TWA – *time-weighted average*) valor de concentração definido para 40 horas semanais em cinco dias de trabalho (*Institut National de la Recherche Scientifique, 1996; American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2000*).

Trata-se, portanto, de estimar o risco para a saúde a partir da quantificação, no ambiente de trabalho, do próprio agente químico por comparação com os referenciais definidos (*Prista e Uva, 2003*).

No entanto, importa referir que a exposição a valores de concentração inferiores a estes valores limite não invalida que alguns dos indivíduos expostos não possam apresentar respostas de intensidade acrescida, efeitos adversos ou agravamento de situações pré-existentes (*Prista e Uva, 2003*).

No caso do formaldeído, a Norma Portuguesa NP 1796:2007 (*Instituto Português da Qualidade, 2007*) estabelece como VLE-CM o valor de 0,3 ppm, limite idêntico ao estabelecido pela *American Conference of Industrial Hygienists* (ACGIH). Nos Estados Unidos da América do Norte, o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) estabelece o valor de 0,1 ppm como exposição limite de curta duração (TLV-STEL), enquanto a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) referencia 0,75 ppm como concentração média ponderada (TLV-TWA). Por seu turno, em França, o *Institut National de Recherche et de Sécurité* (INRS) indica como valor de referência para a exposição limite de curta duração (TLV-STEL) o valor de 1 ppm e, para a concentração média ponderada (TLV-TWA), o valor de 0,5 ppm (*cf. Figura 3.5*) (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*).

Instituição	Tipo de referencial	Concentração de referência (ppm)
NP 1796	CM	0,3
NIOSH	STEL	0,1
ACGIH	Ceiling	0,3
OSHA	TWA	0,75
OSHA	STEL	2,0
OSHA	Ceiling	5,0
INRS	STEL	1
INRS	TWA	0,5

Fonte: *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*

**Figura 3.5: Valores máximos admissíveis para o formaldeído.**

### 3.5 Estudo da exposição profissional

Para além da monitorização directa, a avaliação da exposição poderá ser efectuada por dados obtidos através de modelos de cálculo, baseados em informação disponível de substâncias com utilizações, propriedades ou padrões de exposição semelhantes. Naturalmente, contudo, os dados obtidos por monitorização serão os mais adequados e mais próximos da realidade, importando definir o que medir e quando medir, bem como assegurar a representatividade e fiabilidade das medições realizadas (*Hayes, 2001; Herber, Duffus e Christensen, 2001*).

A avaliação directa da exposição assenta na concretização de cinco etapas sequenciais: a identificação do factor de risco a avaliar, a recolha de informação, a

definição de grupos de exposição, a selecção de um referencial de medição adequado e a estimacção da exposição (*Stewart e Stenzel, 2000*).

Em qualquer estudo da exposição profissional será sempre conveniente proceder a uma observação inicial, de modo a serem identificados alguns aspectos importantes, como os processos de trabalho, o posicionamento dos trabalhadores relativamente às fontes emissoras do contaminante químico, as tarefas a concretizar e a actividade desenvolvida em cada posto de trabalho, a existência de operações que envolvam o aumento da temperatura, o número de trabalhadores envolvidos entre outras. São informações pertinentes e que importa considerar para definir a estratégia a adoptar para a realização das medições ambientais com vista à caracterização da exposição profissional a um agente químico (*Occupational Safety and Health Administration, 2008*).

A criação de grupos de exposição tem como principal objectivo facilitar e, em algumas situações, possibilitar a realização da avaliação da exposição de forma mais prática e menos onerosa. Os grupos de exposição consistem em conjuntos de trabalhadores que apresentam uma exposição similar, devido à sua semelhança relativamente a vários aspectos que influenciam a exposição, designadamente na frequência e modo como realizam as tarefas, nos materiais e equipamentos que utilizam, nos padrões de ventilação e processos produtivos em que estão envolvidos (*Sadhra e Gardiner, 1999; Stewart e Stenzel, 2000*).

No que concerne ao referencial de medição, normalmente o mais utilizado é a Exposição Média Ponderada (VLE-MP) (*Preller, Burstyn e Pater, 2004; Hinwood, Berko e Farrar, 2006*). No entanto, para alguns agentes químicos este referencial não se afigura como o mais adequado, dado não ter em conta o modo como o agente químico actua no organismo e desencadeia os efeitos adversos sobre a saúde (*Preller, Burstyn e Pater, 2004*). Por exemplo, no caso do formaldeído, os efeitos para a saúde estão mais associados com os níveis máximos de concentração do que com o tempo de exposição pelo que o referencial mais adequado para a avaliação do risco será o da Concentração Máxima (VLE-CM) (*Stewart e Stenzel, 2000; International Agency for Research on Cancer, 2006; Pyatt, Natelson e Golden, 2008*).

### 3.5.1 Factores que influenciam a exposição

Diversos factores presentes numa situação de trabalho são susceptíveis de originar flutuações na concentração do poluente presente no ar ambiente. De entre estes factores podem salientar-se, pela sua importância, as alterações no padrão do turno e no número de indivíduos presentes e os distintos modos operatórios assumidos pelos diversos trabalhadores, mesmo quando trabalham no mesmo local

e desenvolvem as mesmas actividades. Outro conjunto de factores respeita às próprias fontes de emissão, nomeadamente o número de fontes emissoras, variação na taxa de emissão de cada fonte e variações na dispersão do poluente, situação particularmente importante no estudo de agentes químicos muito voláteis como o formaldeído. Por fim, mas não menos importante, as oscilações nos parâmetros ambientais como a temperatura e a humidade, que poderão influenciar a concentração do agente químico no ar ambiente (*Sadhra e Gardiner, 1999; Sadhra, 2005; Kromhout, Von Tongeren e Burstyn, 2005*).

São factores que irão ter influência no procedimento (estratégia) de medição pelo que, desta forma, importa considerá-los de forma cuidadosa para obter dados que permitam uma correcta avaliação do risco.

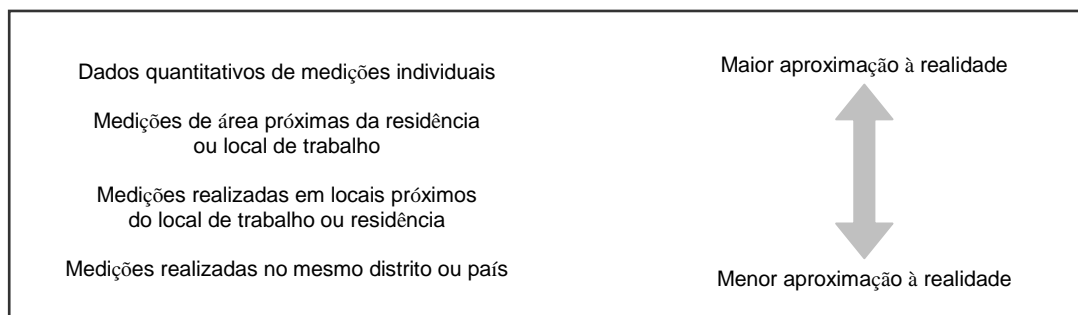
### 3.5.2 Metodologias de monitorização ambiental

A monitorização do contacto humano com poluentes ambientais envolve a utilização de métodos que permitam a obtenção de dados qualitativos e quantitativos. No entanto, os dados quantitativos apresentam particular interesse para a avaliação e caracterização do risco (*Lioy, 1995*).

O estudo da exposição a agentes químicos em contexto ocupacional, concretiza-se pelo recurso a dois tipos de métodos: 1) os que são mais orientados para o estudo da exposição de um determinado indivíduo e que envolvem a realização de amostragens individuais, muitas vezes associados à utilização de indicadores biológicos de exposição como informação complementar; 2) outros, mais orientados para o estudo da contaminação ambiental numa determinada área e que envolvem a realização de amostragens ambientais, o desenvolvimento de modelos de exposição e de questionários e de diários onde se descrevem as actividades desenvolvidas durante a realização das monitorizações ambientais, procurando identificar os indivíduos com as exposições mais críticas (*National Research Council, 1991; Goldstein e Greenberg, 2002*).

Não existe uma “melhor estratégia” para todas as situações. Existem alguns factores a considerar que auxiliam a tomada de decisões, nomeadamente a disponibilidade e o custo dos equipamentos de medição e dos processos analíticos correspondentes, o custo dos recursos humanos que procedem à recolha de amostras, a localização das operações de trabalho e dos trabalhadores, a frequência de variações no processo, precisão e sensibilidade dos métodos de amostragem e analíticos e, ainda, o número de amostras necessárias para que a monitorização seja representativa da exposição (*Occupational Safety and Health Administration, 2008*).

No que concerne aos dados obtidos e possíveis conclusões, existe uma grande dependência do que estes representam em termos da caracterização fidedigna da exposição. Poderemos concluir que, quanto mais orientadas para o indivíduo forem as medições, maior a aproximação dos resultados à exposição ambiental real (*cf.* Figura 3.6).



*Adaptado de Lioy (1995)*

**Figura 3.6: Tipos de dados e a sua aproximação da exposição real.**

De forma a permitir a recomendação de adequadas medidas técnicas de controlo da exposição, existe a necessidade de se obterem informações complementares, designadamente a identificação das fontes de emissão e os momentos de maior intensidade da exposição (*Lioy, 1995*).

Por seu turno, no caso da exposição simultânea a múltiplos agentes químicos, situação frequente em contexto ocupacional, será exigível a realização de várias medições para definir com precisão a contribuição de cada agente químico, considerando que os efeitos para a saúde são normalmente distintos (*National Research Council, 1991*).

Algumas dificuldades podem surgir resultantes das exigências de amostragem e análise para cada um dos métodos e agentes químicos. Por exemplo, o tempo de medição (tempo envolvido na recolha das amostras) está normalmente dependente quer do método analítico disponível para detectar o poluente, quer do período de tempo que o indivíduo poderá passar num local particular a desenvolver uma actividade específica. Adicionalmente, é necessário considerar outras variáveis como, por exemplo, a volatilidade do agente químico e o tipo de actividades ou local onde a exposição pode ocorrer (*Lioy, 1995; Harper, 2004*).

### 3.5.3 Selecção das condições de medição

A melhor estimativa da exposição individual é alcançada através de várias amostras colhidas na zona respiratória dos trabalhadores durante todo o período de trabalho.

A distribuição do tempo de medição deve ser estabelecida de modo a que cubra a maioria das actividades acerca das quais exista menos informação relativa às exposições prováveis (*U.S. Environmental Protection Agency, 1992*).

Quando for possível identificar claramente as actividades em que ocorrem as exposições mais elevadas – devido à proximidade à fonte emissora, condições de ventilação, movimentação e modos operatórios dos trabalhadores –, os períodos de medição podem ser seleccionados contendo essas actividades, sendo esta abordagem designada como a medição do caso mais desfavorável (*Sadhra e Gardiner, 1999; Kromhout, 2002; Sadhra, 2005*). É uma situação já conhecida na exposição a formaldeído em laboratórios de anatomia patológica, caso em que estudos diversos indicam que a exposição mais intensa se verifica no exame macroscópico das peças anatómicas (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f; Ohmichi, Komiyama e Matsuno, 2006; Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006*).

### 3.5.4 Estratégia de medição

Após a selecção dos métodos de colheita e analítico adequados ao agente químico em estudo, algumas questões devem ser equacionadas quando se define a estratégia de medição, nomeadamente: as características do agente químico a medir, onde e quando colher as amostras ou efectuar as medições, qual a duração das colheitas ou medições, quantas amostras a colher e qual a sua frequência. Considerando estas questões, a estratégia de medição necessita de ser definida para que os dados obtidos sejam uma adequada representação da exposição (*Sadhra e Gardiner, 1999; Sadhra, 2005; Kromhout, Von Tongeren e Burstyn, 2005*).

Se a distribuição da concentração do agente químico no meio ambiente ao longo do período de exposição não sofrer alterações significativas, situação pouco frequente em contextos ocupacionais, os tempos de colheita ou medição podem ser escolhidos de modo a não abranger o período total. Nestas situações, o período de tempo não contemplado pode representar sempre uma fragilidade (eventualmente importante) na adequabilidade da medição da exposição (*Kromhout, Von Tongeren e Burstyn, 2005*). Como forma de minimizar esta situação, deve-se proceder a uma observação detalhada de todos os acontecimentos que ocorrem fora do período de medição (*Occupational Safety and Health Administration, 2008*).

Um outro aspecto reside na representatividade, relativamente à realidade, dos postos de trabalho ou indivíduos expostos seleccionadas para alvo das colheitas ou medições. A semelhança da exposição entre os indivíduos amostrados e os não amostrados (grupo de exposição) constitui, na realidade, um factor que favorece em muito a proximidade dos resultados do total da situação de exposição (*Stewart e Stenzel, 2000; Kromhout, 2002*).

Verifica-se, deste modo, e uma vez mais, que a recolha de informações detalhadas sobre a actividade desenvolvida, só é possível no contexto da análise ergonómica do trabalho, que se apresenta de elevada importância.

### 3.5.5 Colheita de amostras e análise laboratorial

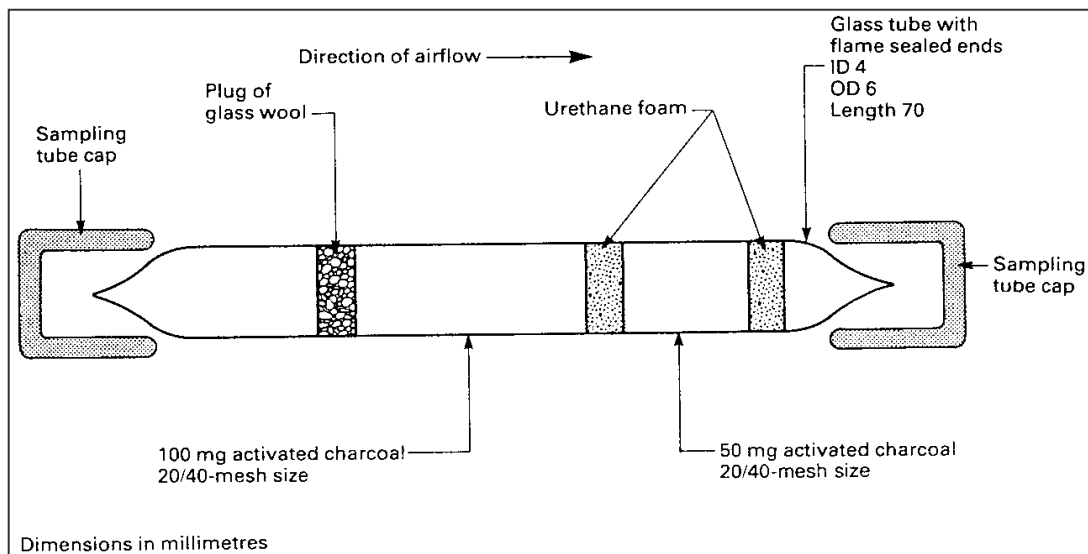
A monitorização de poluentes químicos em forma de gases ou vapores pode ser realizada através de medições numa área do ambiente (medições de área ou da fonte) ou em cada indivíduo exposto (amostragem individual).

A colheita de amostras, por seu turno, pode ser concretizada através de dois tipos de técnicas: o método activo, onde são utilizadas bombas de aspiração com um caudal constante, e o método passivo ou de difusão, onde a colheita do agente químico se dá por processo de difusão molecular ou permeação. A duração da colheita, por seu lado, tem normalmente a duração de 3 a 4 horas para as medições de área e de 8 horas ou mais para a amostragem individual (*Câmara, 2002; Harper, 2004*).

Em contextos ocupacionais são principalmente utilizados dois métodos activos de amostragem: por absorção e por adsorção.

Na absorção é utilizado um líquido para reter o poluente, sendo a colheita realizada através de frascos lavadores, também conhecidos por *impingers*. No caso do formaldeído, é o procedimento previsto no Método NIOSH 3500 (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*).

Na adsorção é utilizada uma substância sólida para reter o poluente, que normalmente está presente em tubos rectos de comprimento entre 5 e 15 cm. O Método NIOSH 2541 segue este procedimento, tratando-se de um método aplicado também para o estudo da exposição a formaldeído (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*).



Fonte: Health and Safety Executive Occupational Medicine and Hygiene Laboratory (1993)

**Figura 3.7: Tubos rectos com material adsorvente.**

Ambos os métodos, entretanto, requerem um equipamento de aspiração e de um sistema de medição do volume de ar aspirado (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994; Harper, 2004*).

Estes dois métodos de amostragem ambiental implicam, posteriormente, um processamento analítico das amostras. As amostras do primeiro método são submetidas a espectrometria de absorção molecular no ultravioleta-visível, enquanto as colhidas pelo segundo método são analisadas por cromatografia gasosa. A espectrometria, assinala-se, é muito útil por ser um método analítico reproduzível e simples sob o ponto de vista de execução de análise. Por outro lado, a cromatografia gasosa realiza a vaporização da amostra colhida, facultando uma medida quantitativa das concentrações relativas dos componentes de uma mistura (*Gonçalves, 2001*). Embora o método que recorre a frascos lavadores (Método NIOSH 3500) seja reconhecido como sendo mais sensível, apresenta algumas limitações no que concerne à sua utilização em postos de trabalho que envolvem deslocamentos frequentes (designados comumente por postos de trabalho móveis), dado que o equipamento de recolha não permite a sua movimentação nem a sua colocação próxima do aparelho respiratório dos trabalhadores.





*Fonte: Macedo (1988)*

**Figura 3.8: Frascos lavadores (*impingers*).**

Tal conduz, assim, que neste tipo de condições o método por adsorção seja utilizado mais frequentemente (Método NIOSH 2541). É um método que permite a aplicação de bombas de amostragem eléctricas para a recolha de amostras ambientais que acompanham as movimentações do trabalhador durante o desenrolar da sua actividade.



*Fonte: Macedo (1988)*

**Figura 3.9: Bombas de amostragem eléctricas.**

A selecção do método de amostragem estará dependente de vários factores, designadamente das características químicas e físicas do agente químico em estudo, da estabilidade do meio de amostragem, da compatibilidade do meio de amostragem com o método analítico, do caudal da bomba de amostragem e da capacidade de proceder à amostragem em períodos relevantes para o referencial existente, da capacidade e eficiência do meio de amostragem, do tipo de análise e informação necessária, da segurança intrínseca do equipamento de amostragem, da portabilidade, confiança e manutenção do dispositivo de amostragem e das características da actividade que o(s) trabalhador(es) exposto(s) desenvolve(m) (*Sadhra e Gardiner, 1999*).

Ainda no que concerne aos métodos analíticos a que são sujeitas as amostras ambientais, existem algumas características importantes que devem ser tidas em consideração para proceder à selecção do mais adequado. No recurso a estes métodos deve, assim, assegurar-se: 1) a sua sensibilidade, permitindo a detecção de níveis inferiores aos que causam os efeitos adversos para a saúde; 2) a selectividade necessária, não respondendo a compostos similares que podem estar presentes em simultâneo na amostra; 3) que permitam uma rápida amostragem e análise; 4) que o dispositivo de amostragem não dificulte nem altere o comportamento normal do indivíduo; e, por último, 5) custos reduzidos de amostragem e análise (*Herber, Duffus e Christensen, 2001*).

Aspectos como a sensibilidade e a selectividade, saliente-se, revestem-se de um carácter determinante, pois influenciam directamente a qualidade dos resultados obtidos e o impacto que as medidas de prevenção e protecção poderão ter na exposição em estudo (*Herber, Duffus e Christensen, 2001*).

#### 3.5.6 Medição ambiental por equipamentos de leitura directa

Novos métodos de monitorização ambiental que envolvem a medição da concentração do agente químico no ar ambiente por equipamentos de leitura directa (ppb/segundo) têm sido recentemente desenvolvidos. Estes equipamentos têm sofrido várias evoluções tornando-se cada vez mais sensíveis e específicos para diversos agentes químicos. Permitem uma acção menos dispendiosa do que os necessários para os referidos métodos de amostragem, dado evitarem, a jusante, o processamento analítico das amostras em laboratório. Outra vantagem importante reside no facto de possibilitarem a detecção das alterações na concentração ao longo do tempo em que se processe o desenrolar de uma actividade (*Herber, Duffus e Christensen, 2001; Viegas, Prista e Gomes, 2008; Viegas e Prista, 2009a*).

Por outro lado, e caso se realize em simultâneo o registo da actividade, estes equipamentos permitem a obtenção de um perfil da exposição único,

identificando os picos de concentração do agente químico e associando-os aos constrangimentos e modos operatórios presentes, promovendo o conhecimento das variáveis da situação de trabalho que condicionam a exposição e uma avaliação do risco mais exacta, o que posteriormente facilita uma adequada definição de prioridades de intervenção no que concerne à prevenção e/ou controlo da exposição (Drummond, 1997; Ryan, Burroughs e Taylor, 2003; McGlothlin, Xu e Vosciky, 2005; Rosén, Andersson e Walsh, 2005; Viegas e Prista, 2009a; Viegas, Prista e Gomes, 2009b).

A utilização destes equipamentos apresenta particular relevância quando se pretende monitorizar agentes químicos cujos níveis de referência são para exposições de curta duração (VLE-Curta Duração) ou, em alguns casos, para exposições pontuais (VLE-Concentração Máxima). Tal deve-se ao facto de este equipamento facilitar a medição, uma vez que permite identificar os momentos em que ocorrem as exposições mais elevadas, eliminando a dificuldade que a maior parte dos métodos analíticos apresentam ao necessitarem de períodos de colheita superiores a 15 minutos, como é o caso do Método NIOSH 3500 para o formaldeído (National Institute for Occupational Safety and Health, 1994; Poirot, Subra e Gérardin, 2004).

O facto dos efeitos para a saúde decorrentes da exposição a formaldeído parecerem estar mais relacionados com a concentração do agente químico do que com a duração da exposição reforça a importância do estudo das concentrações de pico, tratando-se de uma informação indispensável para a caracterização do risco (International Agency for Research on Cancer, 2006). O recurso a dados relacionados com os valores médios de exposição a este agente químico para os relacionar com efeitos para a saúde tem, aliás, sido identificado como limitação de vários estudos epidemiológicos (Pyatt, Natelson e Golden, 2008; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009).

Este aspecto foi bem evidenciado num estudo de coorte que utilizou as exposições de pico como referência, concretizado por Hauptmann, Lubin e Stewart (2003), envolvendo 25.619 indivíduos expostos, o qual identificou uma relação estatisticamente significativa entre a exposição a formaldeído e o aumento de casos de tumores nasofaríngeos nos trabalhadores expostos (Bosetti, McLaughlin e Tarone, 2008; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009).

A vasta aplicabilidade deste tipo de equipamento não descarta a necessidade da realização de calibrações cuidadosas e regulares e, adicionalmente, a validação da calibração com um padrão de referência (Coffey, Pearce e Lawrence, 2009).

Entre os equipamentos de leitura directa mais comuns, estão os que realizam a medição por *Photo Ionization Detection* (PID), registando a concentração

do tóxico no ar ambiente ao segundo. São normalmente utilizados para a detecção de compostos orgânicos voláteis em baixas concentrações.

Estes equipamentos utilizam a luz ultra-violeta para ionizar as moléculas de gás que passam pela câmara de fluxo do detector, onde são bombardeadas por aquele tipo de radiação. Quando são atingidas as moléculas libertam iões, os quais são atraídos por eléctrodos que amplificam a carga iónica, criando uma corrente eléctrica. Através da medição da corrente produzida determina-se o tipo de gás e a sua concentração, dado cada agente químico apresentar um potencial de ionização específico. Assim, o equipamento PID irá medir todos os agentes químicos que apresentem um potencial de ionização inferior à energia da lâmpada que estiver instalada no equipamento. As lâmpadas poderão ser de 10,2, 10,6, 11,8 e 11,7 eV, sendo esta última a mais indicada para monitorizar concentrações de formaldeído no ar ambiente (*Langhorst, 1981*).

Para permitir a utilização dos equipamentos PID é necessário assegurar que a composição da atmosfera de trabalho não sofre grandes alterações qualitativas durante o desenrolar das tarefas, devido ao facto de apresentarem especificidade limitada. Garantindo esta condição, este tipo de equipamento faculta informação de grande relevância para a intervenção em saúde ocupacional, designadamente permitindo a identificação das tarefas críticas em matéria de exposição e as variáveis da situação de trabalho que influenciam a exposição (*Poirot, Subra e Gérardin, 2004; McGlothlin, Xu e Vosicky, 2005*).

É um tipo de equipamento que disponibiliza resultados válidos e fidedignos, equivalentes aos obtidos em métodos que envolvem processamento analítico laboratorial. Coy, Bigelow e Buchan (2000), por exemplo, compararam os resultados obtidos com um equipamento PID e com um método que envolvia a recolha de amostras por adsorção e posterior análise por cromatografia gasosa. Ambos os métodos foram utilizados para estudar a exposição profissional a solventes, tendo sido possível demonstrar que os resultados obtidos pelos dois métodos eram correlacionáveis, permitindo inclusivamente identificar a proporção de cada agente químico num ambiente que apresentava mistura de poluentes.

No entanto, deve ser considerado como limitação o facto de este equipamento apresentar um fraco desempenho em ambientes com humidade elevada (>80%). Esta situação foi, a título de exemplo, demonstrada num estudo de avaliação do desempenho de 2 equipamentos PID num ambiente com humidade elevada, tendo sido observada uma interferência deste parâmetro ambiental nos resultados obtidos (*Barsky, Que Hee e Clark, 1985*).

### 3.6 Monitorização biológica

Na exposição profissional a agentes químicos, as estratégias preventivas obrigam à caracterização simultânea da exposição ambiental e dos efeitos (ou respostas) por ela provocados, requerendo um claro conhecimento do tipo e significado das informações que as várias abordagens reflectem (*Prista e Uva, 2002*).

À necessidade da monitorização ambiental do agente químico alia-se a importância, pelo menos sempre que tecnicamente possível, da monitorização biológica, esta entendida como a quantificação e avaliação do agente químico ou dos seus metabolitos ou da interacção destes com o organismo nos meios biológicos (tecidos, secreções, excreções, ar expirado ou qualquer combinação destes) com o objectivo de avaliar a exposição e o risco para a saúde por comparação com referências apropriadas (*Hoet, 1996; Aitio e Kallio, 1999; Herber, Duffus e Christensen, 2001*).

A monitorização biológica utiliza como critérios de estudo os designados indicadores biológicos, definidos "como toda a substância, estrutura ou processo que pode ser quantificado no organismo ou nos seus meios biológicos, que influencia ou prediz a incidência de um acontecimento ou de uma doença" (*International Programme on Chemical Safety, 2001, p. 4*).

O risco é, neste caso, avaliado por comparação com os chamados Índices Biológicos de Exposição (BEI – *Biological Exposure Indicators*) que correspondem aos níveis mais prováveis para esses parâmetros, nos meios biológicos, em trabalhadores em boas condições de saúde e após uma exposição por inalação a concentrações correspondentes aos valores limite de exposição (*Hoet, 1996; Truchon, 2004; Ryan, Burke e Cohen-Hubal, 2007*).

Os BEI não representam um valor fronteira entre adverso e não-adverso. São estabelecidos a partir de estudos de dose-efeito, realizados em situações reais, não sendo a sua utilização indicada para o diagnóstico de uma patologia profissional. São equivalentes aos designados Valores-Limite Biológicos (VLB), conceito padronizado para o espaço europeu, que se referem aos limites de concentração, num meio biológico, estabelecidos para um agente, seus metabolitos ou um seu efeito (*Directiva 98/24/CE; American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2002; Bolt e Thier, 2006; Prista e Uva, 2006; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

No âmbito da exposição aos agentes químicos são habitualmente considerados três diferentes tipos de indicadores (*International Programme on Chemical Safety, 2001; McLean e Webster, 2008*):

- (1) Indicador Biológico de Exposição: substância exógena ou seu metabolito, ou o produto da interacção entre um xenobiótico e uma molécula-alvo ou célula, que é medido num compartimento orgânico;
- (2) Indicador Biológico de Efeito: alteração bioquímica, fisiológica, comportamental, ou de outra natureza, quantificável, que, dependendo da magnitude, pode ser reconhecida como associada com uma possível alteração de saúde ou doença;
- (3) Indicadores Biológicos de Susceptibilidade: indicador de uma capacidade inata ou adquirida de um organismo para responder ao impacto da exposição a uma substância xenobiótica.

No caso do formaldeído está fortemente prejudicado o recurso a qualquer indicador biológico de exposição. O formaldeído é rapidamente metabolizado ao contactar o organismo, designadamente ao nível das mucosas respiratórias. Por outro lado, o seu principal metabolito nos meios orgânicos, o formato que é eliminado por via urinária, tem origem igualmente em outros processos metabólicos. Assim, a dose interna não é possível de medir e a dosagem daquele metabolito não é adequadamente específica (*Lauwerys e Hoet, 2001; International Agency for Research on Cancer, 2006*).

Quanto a indicadores de efeito, não se conhecem, actualmente, situações ou substâncias específicas da exposição ao formaldeído (*Speit e Schmid, 2006*).

No entanto, dado o seu potencial genotóxico, merece particular referência a eventual aplicabilidade e utilidade da informação proporcionável por indicadores de genotoxicidade, em particular as aberrações cromossómicas, os micronúcleos e as trocas de cromátídeos irmãos que, embora desprovidos de especificidade relativamente ao eventual agente etiológico, têm vindo a ser utilizados com sucesso na identificação de populações expostas e na monitorização da eficácia de medidas de diminuição da exposição (*Shaham, Bomstein e Melzer, 1997; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Watson e Mutti, 2004; Prista e Uva, 2006*). Estes indicadores permitem identificar precocemente alterações no genoma, indiciando a possibilidade de desenvolvimento cancerígeno (*Albertini, Anderson e Douglas, 2000; Speit e Schmid, 2006; Norppa, 2004; Garcia-Sagredo, 2008; Greim e Snyder, 2008*).

O teste das aberrações cromossómicas, consideradas como indicadores do aumento de risco de cancro, será um dos mais sensíveis na detecção dos efeitos decorrentes da exposição a agentes ambientais mutagénicos (*Norppa, 2004; Sardas, 2005*). As trocas de cromátídeos irmãos reflectem uma alteração citogenética (trocas simétricas de segmentos do ADN entre cromátídeos irmãos de cromossomas em metafase) e reflectem a reparação do ADN após a exposição a

agentes genotóxicos (Norppa, 2004; Sardas, 2005; Garcia-Sagredo, 2008). O teste dos micronúcleos pode ser aplicado em linfócitos periféricos ou em células esfoliadas. São pequenos núcleos adicionais, originários de fragmentos cromossómicos ou de cromossomas que perderam material genético durante a divisão celular. Incidências elevadas deste fenómeno, comparativamente com uma população de controlo, representam alterações cromossómicas importantes para o processo de carcinogenese. Estudos recentes indicam os micronúcleos como os pontos de actuação genéticos mais sensíveis para a detecção da mutagenicidade do formaldeído (Norppa, 2004; Speit, Schmid e Fröhler-Keller, 2007).

Como exemplo da aplicação do teste dos micronúcleos como indicador dos efeitos genotóxicos da exposição a formaldeído, um estudo desenvolvido em Portugal, numa fábrica de produção de formaldeído e de resinas à base de formaldeído, aplicou-o em células esfoliadas da boca e nos linfócitos periféricos dos trabalhadores expostos por comparação com um grupo de controlo. Os resultados obtidos, em particular os obtidos para as células esfoliadas, indicaram uma maior frequência de micronúcleos nos indivíduos expostos, com uma diferença estatisticamente significativa do grupo de controlo (Viegas, Ladeira e Vacas, 2008).

No que respeita a indicadores biológicos de susceptibilidade, finalmente, o seu interesse reside apenas e exclusivamente na possibilidade que possam traduzir para o desenvolvimento de estudos que conduzam a melhor conhecer os efeitos dos agentes químicos sobre o organismo humano. Tratam-se de dados sobre factores individuais que podem representar características de vulnerabilidade ou de resistência em situações específicas de exposição profissional, que só podem ser obtidos em contexto próprio das metodologias de vigilância da saúde e que poderão apresentar grande utilidade na gestão dos riscos profissionais (Watson e Mutti, 2004; Prista e Uva, 2006).

No caso do formaldeído, a investigação científica tem vindo a centrar-se em polimorfismos nos genes da enzima desidrogenase do formaldeído e na possibilidade de poderem significar diferentes capacidades de metabolização deste químico (Hedberg, 2001; Norppa, 2004; Guang-Yong, Hye-Young e Ho-Sang, 2007; Ladeira e Viegas, 2009). Outras investigações, além de estudarem os polimorfismos associados desta enzima tentam, adicionalmente, pesquisar a capacidade de reparação dos danos provocados no ADN após a exposição a um agente químico genotóxico (Berwick e Vineis, 2000; Kelada, Eaton e Wang, 2003; Ladeira e Viegas, 2009).

### 3.7 Vigilância biológica vs vigilância ambiental

A Vigilância Ambiental coloca em evidência a exposição no local de trabalho e no estrito contexto das condições em que ela é apreciada. É uma avaliação teórica do risco, na medida em que apenas relata sobre aquilo a que o trabalhador está exposto. Trata-se de uma avaliação parcelar, uma vez que apenas informa daquela exposição e em relação à fonte em estudo (*Prista e Uva, 2003*).

A Vigilância Biológica representa, em relação à Vigilância Ambiental, uma informação mais desenvolvida no que concerne à estimativa de avaliação do risco para a saúde decorrente da exposição a um agente químico. Na realidade, os indicadores biológicos (de dose ou de efeito) reflectem a totalidade da exposição a partir de todas as fontes e a absorção por todas as vias, informando não só sobre a exposição recente como também da acumulada, permitindo uma avaliação do risco mais real. Adicionalmente, a Vigilância Biológica constitui um mais detalhado instrumento de apreciação da validade e efectividade das medidas preventivas que tenham sido implementadas, envolvendo normalmente procedimentos e técnicas mais práticas, rápidas e económicas (*Hoet, 1996; Prista e Uva, 2003; Wild, 2005; Lin, Kupper e Rappaport, 2005; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

De salientar, contudo, que o recurso a indicadores biológicos só é possível face a agentes químicos que sejam absorvidos, isto é, não é aplicável para substâncias que exerçam apenas efeitos locais ou de contacto. Nestas situações a monitorização ambiental será o único elemento possível de avaliação do risco (*Lauwerys e Hoet, 2001; Lin, Kupper e Rappaport, 2005; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

No entanto, a Vigilância Biológica deve ser considerada uma abordagem complementar da Vigilância Ambiental e não uma abordagem alternativa, aceitando, contudo, que a primeira faculte informações de grande relevância e detalhe para a avaliação e gestão dos riscos envolvidos (*Wild, 2005; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

Em 1998, os dados disponibilizados pela *American Conference of Industrial Hygienists* (ACGIH) revelavam cerca de 600 agentes químicos com valores limites ambientais, para os quais apenas se identificavam 37 com indicadores biológicos de exposição validados e, mesmo nalguns casos, com uma significativa diversidade de limitações no que concerne à sua aplicação (*Ong, 1999*). Assim, a prevenção de eventuais efeitos relacionados com a exposição profissional a substâncias químicas continuará a ser fortemente baseada na avaliação da dose externa, uma vez que para a maioria das substâncias químicas os conhecimentos da toxicocinética, da toxicodinâmica ou mesmo apenas as possibilidades tecnológicas disponíveis não



permitem, num número muito significativo de situações, o recurso a marcadores biológicos pelo menos com especificidade e sensibilidade validadas (*Prista e Uva, 2006; Manini, De Palma e Mutti, 2007*).

A Vigilância da Saúde dos trabalhadores expostos a agentes químicos requer, assim, o contributo das duas importantes abordagens — a Vigilância Ambiental e a Vigilância Biológica. Mas seria inevitavelmente incompleta se não se desenvolvesse com um enquadramento determinado pela Vigilância Médica, esta entendida como o conjunto de avaliações médico-fisiológicas periódicas, sistemáticas e repetidas dos trabalhadores expostos com o objectivo de proteger a saúde e prevenir as doenças “relacionadas” com o trabalho (*Hoet, 1996*). Esta vigilância, centrada na identificação dos sinais precoces de doença, complementa as duas abordagens precedentes, permitindo despistar os casos de hipersusceptibilidade e detectar eventuais falhas nas medidas preventivas (*Bernard e Lauwerys, 1989*).

A vigilância do ambiente de trabalho e a da saúde do trabalhador são, assim, aspectos complementares numa mesma estratégia de avaliação e prevenção dos riscos, fornecendo informações diferentes e que se completam, nunca devendo ser encaradas como diferentes opções para alcançar um mesmo resultado (*Prista, 2002*).

### **3.8 Substituição do formaldeído**

A substituição do formaldeído por produtos com menor toxicidade tem sido tentada em algumas das suas aplicações nas diferentes áreas de actividade.

Na área de embalsamação de cadáveres, o glutaraldeído foi o produto que apresentou melhores resultados, dada a reacção química que promove com os tecidos ser semelhante à que ocorre com o formaldeído. Apresenta algumas vantagens comparativamente com a utilização do formaldeído, designadamente a maior facilidade de penetração nos tecidos e o facto de apresentar uma coloração dos tecidos mais “natural”, sendo este um aspecto importante no serviço funerário. No entanto, e apesar destas vantagens, trata-se de um produto 4 a 5 vezes mais dispendioso que o formaldeído, levando a que a solução de formaldeído seja ainda a mais empregue (*Mao e Woskie, 1994*).

Na área da produção das resinas fenólicas tem sido testada a substituição parcial do fenol e do formaldeído por óleos de alcatrão vegetal. Os testes obtiveram bons resultados, assegurando uma redução de 25% de fenol e de 8% de formaldeído (*Salamone, 1996*).

Em relação às resinas de ureia-formaldeído, e também com o objectivo de reduzir a emissão de formaldeído proveniente dos produtos que utilizam este tipo de resinas (mobiliário, por exemplo), têm sido desenvolvidas técnicas na fase de produção que acarretam maior estabilidade no produto final e, consequentemente, uma menor volatilidade do formaldeído (*Salamone, 1996*).

Nos laboratórios de anatomia patológica, desde 1987 que se tem tentado substituir o formol (solução de formaldeído) em algumas das actividades desenvolvidas (*Titford, 2005*). No entanto, os novos produtos também apresentam toxicidade, necessitando de algum cuidado durante o seu uso e posterior encaminhamento dos resíduos produzidos (*Titford e Horenstein, 2005*).

Em 1994 foi testado um fixador alcoólico constituído por etanol (56%) e por glicol de polietileno (20%), produto que obteve bons resultados, tendo sido considerado uma alternativa satisfatória para o diagnóstico rotineiro em patologias cirúrgicas (*Bostwick, Al Annouf e Choi, 1994*).

Num estudo efectuado em 1997 testaram-se seis fixadores propostos como substituintes do formol, concluindo-se que apenas o formol apresentava condições adequadas para o desenvolvimento das acções críticas previstas em histologia e histopatologia (*Prentö e Lyon, 1997; Jones, 2007*). Pode, assim, concluir-se que, actualmente, neste contexto ocupacional específico, ainda não é possível a substituição da solução à base de formaldeído, dado os produtos alternativos apenas poderem ser aplicados em situações muito particulares. Acresce ainda o facto de não existir por enquanto uma avaliação da relação custo-benefício no que concerne à utilização destes produtos alternativos (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*).

Considerando as dificuldades que envolvem a substituição do formaldeído, os estudos respeitando a exposição a formaldeído, designadamente em situações de trabalho e em relação aos efeitos para a saúde dos trabalhadores expostos, mantêm toda a actualidade e pertinência.

## **CAPÍTULO II. ESTUDO DESENVOLVIDO**

## **1. Metodologia**

O estudo desenvolvido centrou-se na questão da exposição profissional a formaldeído em laboratórios hospitalares de anatomia patológica.

Processou-se ao longo das três fases principais consideradas por Fortin (2003): a fase conceptual, a fase metodológica e a fase empírica. Note-se, contudo, que se trata de uma estruturação não compartimentada em absoluto, uma vez que as três fases não são totalmente independentes umas das outras, pelo que o seu desenvolvimento se sobrepõe para permitir uma melhor clarificação do objecto de estudo.

Na fase conceptual foi estabelecida a problemática geral do estudo, procedeu-se à revisão da literatura pertinente e delinear-se os objectivos e as questões de investigação.

A fase metodológica correspondeu à definição da população-alvo e, conseqüentemente, da amostra a considerar. Foram, ainda, seleccionadas as variáveis a estudar bem como os métodos de recolha e de análise dos dados mais adequados.

Na fase empírica realizou-se a recolha de dados no terreno segundo os métodos definidos, procedeu-se à organização e tratamento estatístico dos dados, sua interpretação e discussão, de forma a responder às questões de investigação previamente formuladas.

O estudo delineado pode considerar-se exploratório-descritivo, na medida em que visou descrever e contextualizar uma determinada situação (Fortin, 2003).

Considera-se, também, um estudo transversal, dado consistir na investigação de uma unidade de análise num determinado período de tempo (Beaglehole, Bonita e Kjellstrom, 2003).

### **1.1 Objectivos de investigação**

Com o objectivo geral de contribuir para o conhecimento da exposição profissional a formaldeído em laboratórios hospitalares de anatomia patológica, através de situações reais de trabalho em Portugal, esta investigação foi delineada com os seguintes objectivos específicos:

- a) Caracterizar a exposição dos trabalhadores, designadamente no que respeita à identificação das relações entre as actividades desenvolvidas e o tipo de exposição;

- b) Identificar as actividades ou grupos profissionais que impliquem maior carga exposicional;
- c) Detectar a possível existência de práticas de trabalho que promovam a exposição;
- d) Caracterizar a contaminação ambiental por formaldeído nos laboratórios estudados;
- e) Avaliar qual o método de avaliação ambiental mais adequado para o estudo da exposição ocupacional a formaldeído;
- f) Identificar se existe algum tipo de relação entre algumas variáveis (temperatura ambiente, humidade relativa, número médio de peças processadas, solução de formaldeído utilizada e condições de ventilação) e a contaminação ambiental por formaldeído;
- g) Contribuir para a definição de uma metodologia de avaliação do risco de cancro nasofaríngeo adequada a este agente químico e a este contexto ocupacional.

## **1.2 Questões de investigação**

Optou-se por enunciar questões de investigação em detrimento de hipóteses de investigação uma vez que se desenvolveu um estudo exploratório e descritivo (Nível I) por existir um reduzido número de estudos concretizados, designadamente em Portugal (*Fortin, 2003*). Assim, pretendeu-se com o presente estudo, responder às seguintes questões de investigação:

- 1) Que nível de exposição a formaldeído existe nos laboratórios hospitalares de anatomia patológica estudados?
- 2) Existem actividades na sala de entradas dos laboratórios estudados que envolvam uma exposição mais crítica?
- 3) Haverá algum grupo profissional exposto de modo mais crítico?
- 4) Haverá práticas/condições de trabalho que favoreçam a exposição neste contexto ocupacional?
- 5) Como se caracteriza a contaminação ambiental por formaldeído nos laboratórios estudados?
- 6) Existe influência da temperatura ambiente, da humidade relativa, do número médio de peças processadas diariamente, da solução de formaldeído utilizada e das condições de ventilação nas concentrações de formaldeído existentes no ambiente de trabalho?
- 7) Qual o método de avaliação ambiental mais adequado para o estudo da exposição profissional a formaldeído neste contexto ocupacional?

- 8) Que metodologia de avaliação do risco deve ser adoptada no que concerne à exposição a formaldeído neste contexto ocupacional?

### **1.3 População e amostra**

Os laboratórios de anatomia patológica, resumidamente, têm por principal função o exame macro e microscópico de órgãos (ou parte deles) através de técnicas de histopatologia (biópsias, peças cirúrgicas e exames intra-operatórios) e de citopatologia (esfoliativa e aspirativa), assim como fornecerem dados importantes ao diagnóstico clínico e sequente terapêutica, avaliação da evolução e prognóstico (*Moral, 1993; Pardo Mindán, 2000*).

O estudo incidiu sobre laboratórios hospitalares de anatomia patológica, situados em Portugal Continental, independentemente de serem de natureza pública ou privada.

Como critérios de inclusão na amostra a investigar foi tido em consideração o facto dos laboratórios de anatomia patológica integrarem unidades hospitalares, utilizarem a solução de formaldeído (formol) nas suas práticas laboratoriais e, ainda, existir uma sala de entradas (local onde se realiza o exame macroscópico) devidamente separada das restantes áreas de trabalho afectas aos laboratórios de anatomia patológica.

No que concerne ao método de selecção da amostra, optou-se por uma amostra não probabilística de conveniência, por motivos de operacionalidade e facilidade em aceder aos elementos da população alvo. Integraram a amostra, assim, apenas as unidades hospitalares que aceitaram participar no estudo.

A amostra ficou constituída pelos laboratórios de anatomia patológica de 10 unidades hospitalares, representando cerca de 24% do universo total de laboratórios deste tipo existentes em Portugal Continental.

### **1.4 Definição de variáveis**

As variáveis foram divididas em dois grupos distintos, designadamente em independentes e dependentes.

No primeiro grupo foram consideradas as variáveis referenciadas na bibliografia e identificadas na observação das situações de trabalho como potencialmente influenciadoras da exposição a formaldeído. Assim, neste grupo estão enquadradas as seguintes: a temperatura ambiente, a humidade relativa, as actividades estudadas, a solução de formaldeído utilizada como fixador, o número

médio de peças processadas por dia em cada laboratório e as condições de ventilação existentes.

No que concerne às variáveis dependentes foram consideradas como tal os indicadores de contaminação ambiental seleccionados para a presente investigação. Os indicadores de contaminação ambiental visaram facultar informação sobre um fenómeno crítico para um determinado ambiente, simplificando a informação disponível e tornando-a perceptível e possível de ser utilizada para avaliar a evolução do fenómeno, neste caso em particular, a contaminação do ambiente de trabalho por formaldeído (*Gabrielsen e Bosch, 2003*).

No presente estudo foram utilizados três Indicadores de Contaminação Ambiental distintos, nomeadamente o Índice do Tempo de Regeneração (ITR), o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm em cada laboratório e a Concentração Média Ponderada (CMP) obtida por grupo de exposição em cada laboratório.

O ITR é considerado por Nunes e Soares (2007) como o tempo que um determinado ambiente demora a atingir uma situação de controlo em matéria de contaminação após uma situação fora de controlo, segundo um valor de referência, pretendendo avaliar a capacidade que um determinado ambiente tem para recuperar após um período de contaminação. No presente estudo, este indicador representa a capacidade de um meio se recompor após um período de contaminação, demonstrado através do tempo envolvido (em segundos).

Os outros dois indicadores de contaminação ambiental descrevem a intensidade da contaminação ambiental por formaldeído de forma diferente deste, porque caracterizam apenas a contaminação e não a capacidade de recuperação após um período de contaminação.

O ITR foi obtido através do cálculo do tempo médio necessário para que o ambiente de trabalho retomasse a valores de concentração inferiores a 0,3 ppm após ter ultrapassado este referencial.

Por outro lado, e como o nome indica, foi necessário calcular também o valor médio das concentrações que ultrapassavam 0,3 ppm em cada laboratório. As variáveis podem ainda ser classificadas de forma mais detalhada dependendo das suas características (*cf. Quadro 1.1*).

**Quadro 1.1. Classificação das variáveis seleccionadas para o estudo**

Variável	Definição	Tipo	Escala
Temperatura ambiente	Independente	Quantitativa	Métrica
Humidade relativa	Independente	Quantitativa	Métrica
Actividades	Independente	Qualitativa	Nominal
Solução de formaldeído utilizada	Independente	Qualitativa	Nominal
Número médio de peças processadas/dia	Independente	Quantitativa	Métrica
Condições de ventilação	Independente	Qualitativa	Nominal
Índice do Tempo de Regeneração (ITR)	Dependente	Quantitativa	Métrica/ Nominal
Concentração de Formaldeído no ar ambiente (Concentração Média Ponderada)*	Dependente	Quantitativa/ Qualitativa	Métrica/ Nominal
Concentração de Formaldeído no ar ambiente (Concentração Máxima)**	Dependente	Quantitativa/ Qualitativa	Métrica/ Nominal

\* Valor de concentração média ponderada por grupo de exposição em cada laboratório

\*\* Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm obtidas em cada laboratório

## 1.5 Recolha de dados

A recolha de dados possui uma importância decisiva no estudo das unidades de observação incluídas na amostra. Na recolha de dados é fundamental, não só aplicar a metodologia mais apropriada, mas também processar e analisar os dados de forma adequada, de modo a obterem-se conclusões que possam ser consideradas representativas da amostra em estudo.

Com vista à quantificação e caracterização da exposição foram seleccionados dois métodos de recolha de dados, designadamente a avaliação ambiental e a observação directa (*cf.* Grelha de Observação e Registo – Apêndice I).

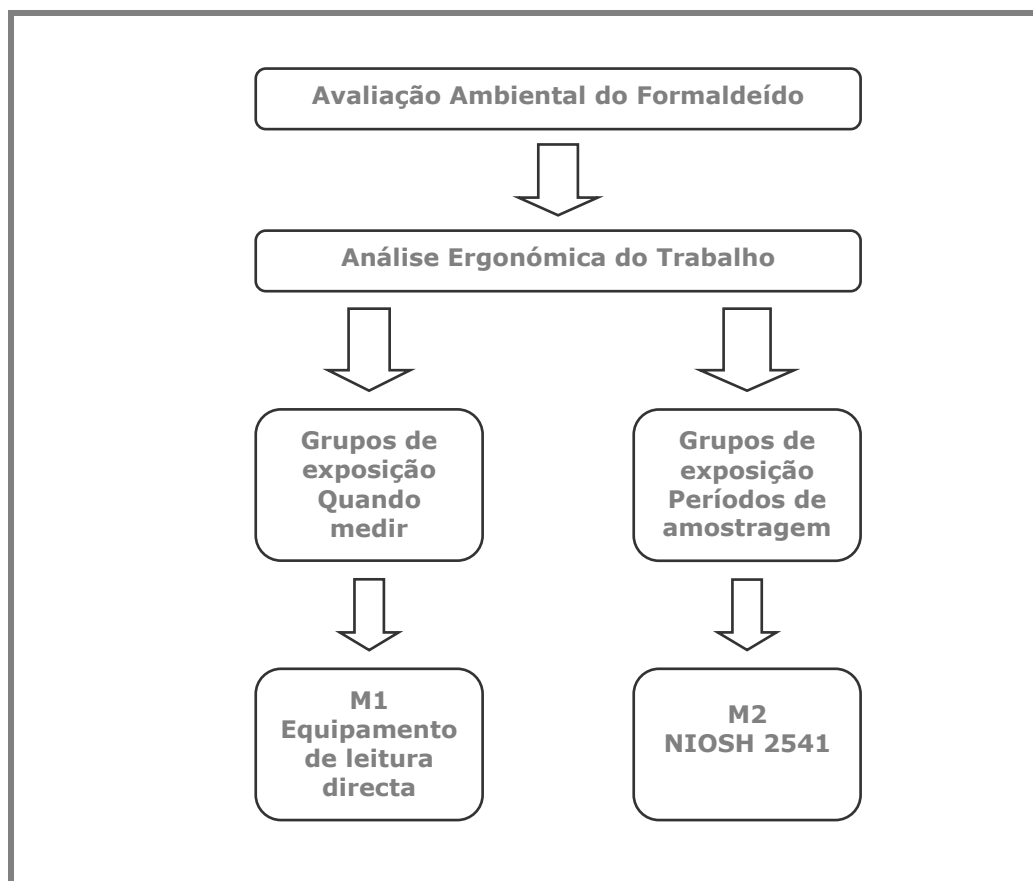
### 1.5.1 Avaliação ambiental do formaldeído

A avaliação ambiental é uma das etapas integrantes do processo de avaliação da exposição, o qual envolve normalmente 5 etapas, todas desenvolvidas no presente estudo: 1) a identificação do factor de risco a avaliar; 2) a selecção do referencial de exposição adequado (VLE-MP, VLE-CD ou VLE-CM); 3) a recolha da informação necessária para definir uma adequada estratégia de medição; 4) a definição dos grupos de exposição; e, por fim, 5) a aplicação do método de avaliação ambiental seleccionado (*Stewart e Stenzel, 2000*).

Sendo o factor de risco em estudo o formaldeído, utilizaram-se como referenciais de valorização da exposição o valor-limite de exposição da média ponderada (VLE-MP) e o valor-limite de exposição da concentração máxima (VLE-



CM); a recolha de informação para caracterização da exposição baseou-se na metodologia ergonómica de análise das situações de trabalho (cf. Figura 1.1).



**Figura 1.1. Esquema do desenvolvimento da recolha de informação.**

A quantificação da exposição a formaldeído teve por base a aplicação de dois métodos de avaliação ambiental distintos: o Método 1 (M1) que implicou a recurso a um equipamento de medição das concentrações de formaldeído por leitura directa; e o Método 2 (M2) que consistiu na aplicação do Método NIOSH 2541 (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*). Segundo o recomendado por várias organizações, ambos os métodos foram sujeitos previamente a aplicações com carácter experimental por forma a adequá-los ao estudo do formaldeído neste contexto ocupacional específico (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*).

A respectiva aplicação dos métodos de avaliação ambiental no âmbito do presente estudo decorreu entre Janeiro e Abril de 2008, tendo sido aplicados nos dias indicados pelos profissionais como sendo os que envolveriam uma maior actividade, i.e., um maior número de peças a serem processadas na sala de

entradas, pretendo-se, assim, estudar a situação mais crítica em matéria de exposição a formaldeído.

Adicionalmente, recolheram-se também dados sobre dois parâmetros ambientais, designadamente a temperatura ambiente e a humidade relativa.

#### *Método 1 (M1)*

O Método 1 (M1) implicou a utilização de um equipamento de leitura directa que efectua a medição das concentrações de formaldeído por *Photo Ionization Detection* (PID), registando essa concentração no ar, ao segundo, sendo designado por *First Check*, da *ION Science* ([www.ionscience.com](http://www.ionscience.com)). Foi utilizada uma lâmpada de 11,7 eV, a indicada para monitorizar ambientes com formaldeído (Langhorst, 1981).



Fonte: ION Science (2009)

**Figura 1.2: Equipamento utilizado no método M1.**

A necessidade de seleccionar um equipamento de medição que realizasse o registo das concentrações de formaldeído em cada segundo deveu-se ao facto de se pretender identificar as rápidas alterações na concentração do formaldeído e associá-las com as actividades que estariam a ser desenvolvidas no momento da medição.

O equipamento foi sujeito a uma calibração interna no fabricante e, previamente a todas as medições efectuadas, procedeu-se à calibração de campo realizada pela investigadora. O equipamento foi colocado ao nível do aparelho respiratório dos profissionais, durante a execução das actividades estudadas, visto ser esta a via de penetração preferencial do agente químico no organismo (International Agency for Research on Cancer, 2006).

Aos valores de concentração obtidos através deste equipamento, e porque a lâmpada utilizada é também sensível à presença de metanol por ter um potencial de ionização similar ao do formaldeído (metanol: 10,85 eV; formaldeído: 10,87 eV) e ambos inferiores a 11,7 eV, foi aplicada uma equação que representa a relação existente entre as concentrações destes dois poluentes no ar ambiente quando se manipula um produto químico composto por estas duas substâncias (como o caso do formol, constituído por formaldeído, metanol e água):

Em que:

- os valores de X são os valores de concentração obtidos com o equipamento;
- os valores de Y são as concentrações de formaldeído presentes no ar ambiente.

Esta equação foi obtida através de uma curva de correlação definida num estudo similar e onde se pretendeu comparar os resultados provenientes da utilização simultânea de dois equipamentos diferentes, sendo que um deles realizaria também a detecção do formaldeído por PID (*Ryan, Burroughs e Taylor, 2003*). A possibilidade de aplicação desta equação foi também questionada ao fabricante do equipamento utilizado na presente investigação, tendo considerado adequada para este fim.

Importa referir que o método M1 apenas se aplicou em locais onde se conheciam os poluentes presentes no ambiente de trabalho devido ao facto deste tipo de equipamento, conforme referido, apresentar especificidade limitada (*Poirot, Subra e Gérardin, 2004*). Assim, as medições realizaram-se essencialmente na sala de entradas, local onde o produto maioritariamente utilizado é o formol e, pontualmente, na sala de lavagens e sala de autópsias, em condições devidamente controladas e conhecidas, devido às informações facultadas pela análise ergonómica do trabalho realizada previamente.

Antes do início das medições analisou-se a situação de trabalho com o objectivo de decompor a actividade em acontecimentos distintos e sucessivos, permitindo a observação de detalhes, a identificação de quando e onde medir as concentrações de formaldeído e ainda caracterizar os grupos de exposição.

Cada medição teve a duração da execução normal de cada actividade, sendo seleccionadas as que envolviam um maior contacto com a solução de formaldeído (formol), definidas quer por fundamentação teórica quer pela observação directa no contexto da análise do trabalho. Assim, pretendeu-se seleccionar os casos mais desfavoráveis (situações em que ocorrem as exposições a concentrações mais elevadas), tendo sido identificado o exame macroscópico como a actividade que envolveria um contacto mais significativo com a solução (Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f).

Adicionalmente, foram consideradas no estudo outras actividades como a lavagem de peças para a remoção do excesso de formol, a eliminação de reservas, a colocação de formol nos recipientes e as biópsias devido à frequência com que eram realizadas e/ou o contacto que promoviam com a solução de formaldeído.

Simultaneamente à realização das medições efectuou-se o registo da actividade que estava a ser exercida pelo trabalhador em causa, permitindo a obtenção do perfil de exposição e possibilitando a identificação dos momentos em que a concentração de formaldeído alcançou os níveis máximos. Esta acção apresentou como objectivo principal identificar as actividades que envolveriam uma maior exposição e os constrangimentos da situação de trabalho que promoviam a exposição (Ryan, Burroughs e Taylor, 2003; McGlothlin, Xu e Vosciky, 2005; Rosén, Andersson e Walsh, 2005).

Os valores mais elevados de concentração obtidos em cada actividade estudada por este método foram comparados com o valor-limite para a concentração máxima (VLE-CM=0,3 ppm), estabelecido em Norma Portuguesa NP 1796:2007 (Instituto Português da Qualidade, 2007).

Através deste método de avaliação ambiental foi possível obter os dados para o referencial de exposição da CM e para dois dos três indicadores de contaminação ambiental aplicados no presente estudo, designadamente: o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm obtidas em cada laboratório e o ITR.

#### *Método 2 (M2)*

O Método 2 (M2) consiste na aplicação do método NIOSH 2541 (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*).

Este método implica recorrer a amostragem activa através da utilização de amostradores individuais (bombas de amostragem de baixo caudal) e de material de retenção colocado próximo do aparelho respiratório dos trabalhadores.



Fonte: Zambelli (2010)

**Figura 1.3: Bombas de amostragem utilizadas no método M2.**

No caso do formaldeído e por se tratar de um agente químico muito reactivo, o material de retenção tem que ter na sua composição dinitrofenilhidrazina para que esta reaja com o formaldeído e torne a sua adsorção possível. Posteriormente, o material de retenção é processado e analisado por cromatografia gasosa (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994; Brown, 2005*).

Na presente investigação, o caudalímetro utilizado para a definição do caudal das bombas de amostragem foi sujeito a calibração interna no fornecedor. O caudal das bombas de amostragem foi verificado antes e após cada utilização pela investigadora. Foram assegurados caudais de recolha inferiores a 0,10 litros/minuto e foi recolhido por cada bomba de amostragem um volume total de ar inferior a 36 litros (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*). Por cada amostra colhida foi utilizado um branco, tratando-se de material de retenção que sofreu as mesmas manipulações que o utilizado para as colheitas, transporte e conservação, com a única excepção de não ter sido colocado nas bombas de amostragem e, portanto, não terá sido exposto a formaldeído. O branco tem como objectivo controlar a qualidade do material de retenção (por adsorção), a manipulação posterior à amostragem e o procedimento analítico, assegurando a não existência de contaminações durante todo o processo. Assim, e segundo os critérios explanados, o estudo realizado através do método M2 envolveu 29 amostras e 29 brancos.

As amostras e os brancos foram, posteriormente, sujeitas a um processamento analítico específico, por cromatografia gasosa, conforme descrito no método NIOSH 2541 (*cf. Anexo I*).

O método M2 foi aplicado nos 10 laboratórios que constituem a amostra, envolvendo um período de colheita entre 4 a 6 horas. Em cada laboratório foram colhidas 2 a 3 amostras e 2 a 3 brancos, respectivamente.

O limite de detecção deste método está referenciado como sendo de 1 µg/mL (0,082 ppm) (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*) e, face a isto, todos os resultados que apresentaram valores inferiores foram descritos como inferiores ao limite de detecção. No entanto, a aplicação do método permitiu alcançar resultados inferiores ao limite de detecção devido a uma maior sensibilidade obtida na sua aplicação. Conforme sugerido por Kromhout, Van Tongeren e Burstyn (2005), estes são resultados a considerar no âmbito de um estudo da exposição a um agente químico por permitirem uma caracterização mais detalhada da exposição.

Após o processamento das amostras por cromatografia gasosa, os resultados obtidos para as concentrações foram sujeitos aos cálculos necessários para a obtenção do valor da concentração média ponderada. Estes cálculos contemplam o tempo de exposição à concentração obtida, conforme previsto no anexo B, da NP EN 689:2008 (*Instituto Português da Qualidade, 2008a*). Assim, a concentração média ponderada de 8 horas (período normal de trabalho) pode ser descrita matematicamente pela Equação 2.

$$\frac{\sum C_i T_i}{\sum T_i} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{8}$$

(Equação 2)

Em que:

- $C_i$  é a concentração da exposição profissional;
- $T_i$  é o tempo associado à exposição em horas;
- $\sum_i^n T_i$ , é a duração do turno, em horas (normalmente consideradas as 8 horas de exposição);
- $n$  é o número de amostras recolhidas no período de exposição considerado.

Relativamente à selecção dos indivíduos para a colocação das bombas de amostragem, optou-se por subdividir a amostra dos profissionais de anatomia patológica expostos em grupos homogéneos relativamente à exposição, dada a variabilidade dos níveis de exposição ser menor para grupos bem definidos do que

para a totalidade dos trabalhadores expostos (*Ramachandran, 2008; Instituto Português da Qualidade, 2008b* [NP EN 482:2008]).

Através da prévia análise do trabalho foi possível definir os grupos de exposição do contexto ocupacional em estudo, considerados como o grupo de trabalhadores que desenvolve tarefas idênticas ou similares no mesmo lugar e tem uma exposição similar (*Susi e Schneider, 1995*).

Assim, após observação directa da dinâmica de trabalho nos laboratórios, foram criados três grupos de exposição, correspondendo aos três grupos profissionais existentes nestes serviços: Médicos Anatomo-Patologistas, Técnicos de Anatomia Patológica e Auxiliares de acção médica. Em cada laboratório seleccionou-se um indivíduo de cada grupo de exposição para transportar uma bomba de amostragem. Os indivíduos seleccionados, além de desenvolverem a sua actividade profissional nos laboratórios estudados, eram os que estavam de serviço na sala de entradas no dia em que se realizaram as avaliações ambientais. Esta opção deveu-se ao facto de se pretender caracterizar a exposição mais crítica, sendo referido em vários estudos que as actividades desenvolvidas na sala de entradas seriam as que envolvem uma exposição mais elevada por ser o local onde se manipulam as peças anatómicas impregnadas com formol (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f; Albuquerque e Ferro, 2005; Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006*).

As bombas de amostragem acompanharam as diversas movimentações que os trabalhadores realizaram durante o período de amostragem e que fazem parte da sua rotina diária no laboratório.

Posteriormente, os resultados obtidos foram comparados com o valor-limite disponível para a concentração média ponderada (TLV-TWA=0,75 ppm) estabelecido pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), por não existir um referencial português.

Assim, através deste método de avaliação ambiental foi possível obter dados para o referencial de exposição da CMP, que se traduz igualmente num dos indicadores de contaminação ambiental utilizados.

#### 1.5.2 Avaliação da temperatura ambiente e da humidade relativa

Complementarmente, procedeu-se à medição de dois parâmetros ambientais, a temperatura ambiente e a humidade relativa, dada a volatilização do formaldeído depender essencialmente não só da área da fonte emissora, mas também destes dois parâmetros ambientais (*Myers, 1985; Arundel, Sterling e Biggin, 1986; Van Netten, Shirliffe e Svec, 1988, 1989; Wolkoff, 1998; Zang, Luo e Wang, 2007; Järnström, 2008*).

A medição da humidade relativa pretendeu também assegurar que esta seria inferior a 80%, por se tratar de um aspecto que poderia influenciar os resultados obtidos nas medições realizadas pelo equipamento do método M1 (*Barsky, Que Hee e Clark, 1985*).

A medição destes dois parâmetros ambientais foi realizada através de equipamento portátil, designado por Babouc A da Lsi Systems, devidamente calibrado e segundo os procedimentos previstos na Norma ISO 7726:1998. Conforme preconizado neste referencial, realizaram-se medições pontuais (e não contínuas) destes dois parâmetros durante as medições ambientais do formaldeído.

### 1.5.3 Grelha de observação e registo

O preenchimento da grelha de observação teve por objectivo sistematizar os resultados das acções dirigidas à identificação das variáveis presentes nas situações de trabalho estudadas e que se sabe poderem influenciar a exposição ao formaldeído. O seu preenchimento foi realizado durante as visitas aos laboratórios, durante e imediatamente após as avaliações ambientais, de modo a efectuar uma descrição concreta das instalações e das condições em que se realizavam as várias actividades estudadas.

A elaboração da grelha de observação respeitou o conjunto de variáveis referenciadas na literatura como podendo influenciar a exposição, designadamente a temperatura ambiente, a humidade relativa, a solução de formaldeído utilizada, o número médio de peças processadas por dia e as condições de ventilação (*Arundel, Sterling e Biggin, 1986; Van Netten, Shirtliffe e Svec, 1988, 1989; Wolkoff, 1998; Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f; Zang, Luo e Wang, 2007; Järnström, 2008*).

A grelha de observação apresentava quatro partes distintas (*cf.* Apêndice I).

A primeira parte destinada à identificação sumária dos locais onde se processariam as avaliações ambientais.

Na segunda parte foram inscritos elementos relacionados com as condições de ventilação existentes nos locais onde se realizaram as medições: existência de janelas, sistemas de insuflação e extracção mecanizada e de climatização, mesa de macroscopia com exaustão localizada, entre outros.

A pertinência, para o presente estudo, de se verificar as condições de ventilação existentes nos locais onde se realizaram as medições deve-se ao facto destas constituírem um ponto fulcral na renovação e/ou diluição do ar existente e de remoção dos vapores de formaldeído do ambiente de trabalho, podendo influenciar de forma significativa a exposição a este agente químico (*Liddament, 2000; Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*).



A terceira parte contém uma breve caracterização dos tecidos anatómicos tratados no momento das medições e o número médio de peças anatómicas processadas por dia. O estudo desta última variável pretendeu verificar a existência de uma associação entre a carga de trabalho e a quantidade de formaldeído existente no ar ambiente (Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f).

A quarta parte identifica a solução de formaldeído que é utilizada. Da mesma forma, a solução utilizada (diluição de formol a 10, 20 ou 30%) poderá influenciar a quantidade de formaldeído disponível na solução para volatilizar (Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f).

## **1.6 Metodologia de avaliação do risco**

Definiu-se que a avaliação do risco, nas exposições em estudo, seria efectuada apenas em relação a um dos possíveis efeitos para a saúde associados à exposição a formaldeído, neste caso, o cancro nasofaríngeo.

A metodologia proposta foi baseada na preconizada pela Universidade de Queensland que, apesar de se basear em análises qualitativas, estima o risco através de categorizações definidas para a gravidade dos efeitos e probabilidade de ocorrência desses efeitos permitindo, *a posteriori*, hierarquizar a intervenção correctiva (University of Queensland, 2005; Uva, 2006). No entanto, a metodologia foi alvo de várias adaptações baseadas no conhecimento científico actual sobre os efeitos biológicos adversos associados à exposição a formaldeído e na informação obtida através da análise ergonómica do trabalho nos locais alvo deste estudo.

As maiores adaptações realizadas dizem respeito à categorização da gravidade do risco, apresentando diferentes níveis baseados nos dados obtidos através de estudos experimentais que indicam acontecimentos biológicos adversos específicos relacionados com o modo de acção do agente químico (acção cancerígena) e associados a uma dose externa, descrita através do referencial de exposição da concentração máxima (CM) (cf. Figura 1.4) (Morgan, 1997; Arts, Rennen e de Heer, 2006; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; Arts, Muijser e Kuper, 2008).

Níveis de Gravidade		Concentração Máxima/Acontecimento Biológico Associado
1	Risco Ligeiro/Negligenciável	Menor ou igual a 1 ppm (não provoca danos no tecido epitelial).
2	Risco Médio	Maior que 1 e menor ou igual a 2 ppm (lesões não neoplásicas de diferentes severidades e incidências).
3	Risco Considerável	Maior que 2 e menor que 4 ppm (proliferação celular, metaplasia, citotoxicidade).
4	Risco Grave	Maior ou igual a 4 ppm e menor que 5 ppm (aumento de 2x a probabilidade de cancro nasofaríngeo).
5	Risco Muito Grave	Maior ou igual a 5,5 ppm (aumento de 4x a probabilidade de cancro nasofaríngeo: metaplasia e necrose celular).

**Figura 1.4: Categorização da gravidade dos efeitos (por actividade).**

Ao contrário do referido como situação ideal, a associação é realizada com a dose externa em detrimento da determinação da dose interna. Tal deve-se à dificuldade existente de doseamento do formaldeído no organismo por virtude do seu rápido metabolismo e excreção (*Lauwerys e Hoet, 2001*).

A definição dos níveis apenas foi possível dado que para o formaldeído existem referências relativamente a limiares de concentração para os quais se iniciam os efeitos biológicos adversos associados ao processo de desenvolvimento cancerígeno (mecanismo de acção) (*Morgan, 1997; Hengstler, Bogdanffy e Bolt, 2003; Bertazzi e Mutti, 2008; Bolt e Huici-Montagud, 2008*).

A probabilidade de ocorrência de cada tipo de exposição foi determinada através dos resultados da análise do trabalho efectuada (*cf. Figura 1.5*).

Níveis de Probabilidade	Probabilidade de Exposição
1	Nunca se realiza
2	Anualmente
3	Mensalmente
4	Semanalmente
5	Diariamente

**Figura 1.5: Categorização da probabilidade de ocorrência (por actividade).**

Assim, a categorização da Probabilidade teve em consideração a frequência de realização de cada actividade (acontecimento) estudada, facultando uma estimativa da probabilidade de exposição às concentrações medidas no ambiente de trabalho.

Posteriormente, procedeu-se à determinação do risco de cancro nasofaríngeo através das categorizações definidas para a gravidade dos efeitos e da probabilidade de ocorrência ( $R = \text{Níveis de Probabilidade} \times \text{Níveis de Gravidade}$ ) (Boyle, 2003).

Em função da categorização para a gravidade do efeito esperado (acontecimento biológico adverso) e da probabilidade de exposição foi possível categorizar o risco em diferentes níveis, obtidos através do respectivo cálculo ( $R = \text{Probabilidade} \times \text{Gravidade}$ ) ao maior valor obtido, correspondendo ao risco mais elevado e permitindo associar uma hierarquização de prioridades no tipo de medidas de eliminação e/ou controlo a implementar (Boyle, 2003; Uva, 2006).

Neste caso, e por se tratar de um agente químico cancerígeno, considerou-se que mesmo a avaliação do risco mais baixa deverá contemplar, como acção correspondente, a vigilância das condições de trabalho e do estado de saúde dos trabalhadores (cf. Figura 1.6).

Score	Avaliação do Risco e Acção Correspondente
Maior ou igual a 20	Risco muito elevado - Actuação emergente
Maior ou igual a 12 e menor que 20	Risco elevado - Actuação imediata
Maior ou igual a 8 e menor que 12	Médio - Actuação logo que possível
Menor que 8	Baixo - Sem necessidade de actuação, mas vigilância

**Figura 1.6: Categorização do escalonamento de medidas preventivas (por actividade).**

## 1.7 Processamento e análise dos dados

Foi constituída uma base de dados com a informação resultante da aplicação dos instrumentos de recolha de dados, a qual foi tratada através do programa SPSS®, versão 17.0 para Windows® da Microsoft International®.

Os dados foram sujeitos a análise descritiva e inferencial.

Para o conhecimento das variáveis quantitativas foram calculados parâmetros da estatística descritiva, designadamente a média, o desvio-padrão e a amplitude de variação com a indicação dos valores máximos e mínimos (medidas de dispersão). Em algumas situações, após constatação da normalidade, foram aplicados testes paramétricos para avaliação das diferenças entre os valores médios.

Através de uma análise de correlação foi avaliada a influência de algumas das variáveis estudadas, designadamente os parâmetros ambientais medidos (temperatura ambiente e humidade relativa) e o número médio de peças processadas em cada laboratório com os indicadores de contaminação ambiental propostos, designadamente o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm obtidos em cada laboratório, o Índice do Tempo de Regeneração e os valores de Concentração Média Ponderada (CMP) obtidos para cada grupo de exposição. Posteriormente, e de forma complementar, aplicaram-se modelos de regressão linear simples e multivariada.

Os modelos aplicados respeitaram as condições necessárias para serem considerados válidos, designadamente a média dos resíduos igual a zero e com uma distribuição normal, os resíduos independentes e com variâncias constantes.

Para estas apreciações considerou-se um nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## **1.8 Considerações de natureza ética**

Durante o desenvolvimento de um estudo de investigação, os interesses individuais dos sujeitos que são objecto de investigação devem, em todos os momentos, ser colocados acima do interesse do investigador, da ciência e da sociedade. Deverá também ser assegurado o direito à confidencialidade, bem como a preservação de qualquer tipo de eventual consequência de carácter jurídico ou financeiro (*Serrano, 1996*).

Previamente ao início das actividades de campo foi solicitada autorização formal aos Conselhos de Administração das unidades hospitalares para a aplicação dos instrumentos de recolha de dados. Recebidas estas aprovações, foram realizadas sessões de esclarecimento e de sensibilização dirigidas aos trabalhadores dos laboratórios, destinadas a informar sobre os objectivos do estudo e obter a sua adesão e participação.

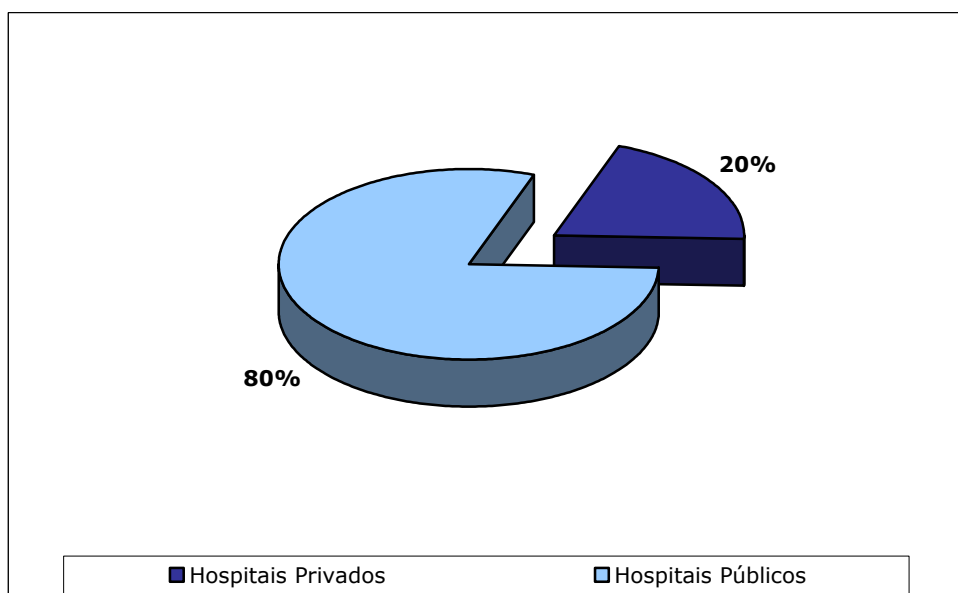
A não identificação de cada unidade hospitalar, na publicitação dos dados obtidos, foi assegurada em todo o processo de investigação.

No final foram apresentados a todas as unidades hospitalares e seus Responsáveis aos vários níveis, incluindo os Serviços de Saúde Ocupacional respectivos, relatórios contemplando toda a informação colhida e tratada bem como informação relativa a medidas de natureza correctiva entendidas como pertinentes.

## **2. Resultados**

### **2.1 Constituição da amostra**

A amostra estudada foi constituída por 10 laboratórios de anatomia patológica (aqui identificados de LabA a LabJ) de distintas unidades hospitalares, das quais 8 (80%) pertencentes à rede pública hospitalar (*cf.* Figura 2.1).



**Figura 2.1: Distribuição das unidades hospitalares (Público vs Privado).**

### **2.2 Descrição das actividades observadas**

Com o objectivo primeiro de identificar, teoricamente, as diversas tarefas desenvolvidas nos laboratórios de anatomia patológica e o respectivo nível de exposição a formaldeído, foi realizada a observação directa das actividades nos diversos laboratórios em estudo. A mesma observação permitiu igualmente

descrever os processos laboratoriais a que uma amostra de material biológico é sujeita quando chega ao laboratório de anatomia patológica.

As peças anatómicas que chegam aos laboratórios necessitam ser impregnadas com uma solução de formaldeído, a menos que venham já nessas condições.

Nos laboratórios observados é utilizada uma solução de formaldeído a 10%, obtida no mercado, com a designação de Formol. No final de cada dia, esta solução é colocada em recipientes que serão remetidos aos serviços que efectuem recolha de peças anatómicas para posterior exame.

A recepção do material biológico inicia uma sequência de procedimentos que culminam na emissão de um relatório final, designado relatório anatomopatológico. Consoante as características da peça a analisar e objectivo do exame, várias etapas pode ser concretizadas: 1) dar entradas, 2) processamento, 3) inclusão, 4) microtomia, 5) criotomia, 6) coloração, 7) observação microscópica, 8) autópsias e 9) eliminação de reservas.

1. O processo internamente designado por "*Dar Entradas*" contempla o seguinte conjunto de actividades:

- Recepção e Registo (do material biológico): consiste na recepção das peças anatómicas e biópsias provenientes de salas de cirurgia, de autópsias ou de outros serviços. Em algumas situações, as peças anatómicas já se apresentam impregnadas em formol e frequentemente é necessário proceder à abertura dos recipientes no processo de recepção, o que poderá acarretar exposição a formaldeído neste momento. Esta tarefa é normalmente realizada pelo técnico de anatomia patológica com apoio pontual de um colaborador da área administrativa do laboratório.

As peças podem ter dimensões muito diversas, desde órgãos inteiros recolhidos em autópsias ou cirurgias a pequenos fragmentos colhidos por biópsia.

- Lavagem de peças anatómicas: consiste na passagem por água corrente das peças anatómicas a analisar. Esta acção é realizada previamente à realização do exame macroscópico e apresenta como objectivo a eliminação do formol em excesso. Tal é considerada uma boa prática de trabalho, devendo ser, sempre que possível, realizada, uma vez que contribui para diminuir a exposição a formaldeído durante o exame macroscópico. É efectuada por técnicos de anatomia patológica ou por auxiliares,

devendo ser acauteladas as condições necessárias para minimizar a exposição durante o processo de lavagem.

- **Fixação:** tem por objectivo preservar as estruturas biológicas para posterior análise, dado que imediatamente a seguir à extracção de um fragmento ou órgão do seu meio natural, este começa a sofrer algumas alterações, tais como, autólise tecidual e putrefacção. A fixação é uma etapa que inibe a autólise, preserva a integridade química dos tecidos, imobiliza as células e endurece os tecidos. O processo de fixação mais utilizado consiste na imersão do tecido num recipiente que contém o líquido fixador, sendo o mais comumente utilizado o formol tamponado (formaldeído, água e metanol) a 10%, reunindo propriedades de fixador e conservador. Este tem capacidade de penetrar rapidamente e de forma uniforme nos tecidos, endurecendo-os moderadamente e retraindo-os pouco, sendo compatível com a maioria das colorações posteriormente realizadas em anatomia patológica.
- **Descalcificação:** após a fixação, alguns dos fragmentos que chegam ao serviço de anatomia patológica precisam de ser descalcificados. A descalcificação consiste na eliminação completa de sais de cálcio para posterior estudo histopatológico, não envolvendo a exposição a formaldeído.
- **Exame macroscópico:** as amostras, depois de devidamente fixadas, estão prontas para continuarem o processamento de rotina. Estas devem ser descritas de uma forma sequencial lógica, com uma descrição clara das anomalias macroscópicas e a sua localização. Esta etapa tem por objectivo descrever as peças a olho nu, sendo de realçar que os procedimentos variam conforme as peças anatómicas a analisar. Assim, o exame macroscópico compreende um conjunto de métodos perfeitamente estruturados, tendo como objectivos a descrição pormenorizada da peça anatómica (tipo, dimensão, peso, forma, morfologia, aspecto externo, cor, lesões, odor) e a selecção detalhada de todas as áreas que serão alvo do estudo microscópico. Nesta etapa, no caso de se tratar de peças cirúrgicas a serem analisadas, o técnico de anatomia patológica auxilia o médico anatomo-patologista. No caso de se tratar de biópsias, o exame é, normalmente, desenvolvido apenas pelo técnico de anatomia patológica. As amostras recolhidas são posteriormente dissecadas e seccionadas,

escolhendo-se as áreas mais representativas. O objectivo é permitir um diagnóstico adequado mas também, no caso de neoplasias, um prognóstico, para o que contribui a observação das margens da lesão. As peças cirúrgicas, depois de cortadas, são colocadas em cassetes, sendo posteriormente colocadas em recipientes com formol.

2. O *Processamento* consiste numa técnica que compreende três etapas, com o objectivo de remover toda a água que se pode extrair dos tecidos e substituí-la por um meio que solidifique permitindo, assim, o corte dos tecidos: desidratação, que consiste na remoção da água livre ou possível de extrair do tecido fixado por acção de álcoois, normalmente o etanol; a diafanização, processo representado pela passagem dos tecidos fixados e desidratados por uma substância diafanizadora (geralmente o xilol); e a impregnação, substituição do xilol pela parafina. O processamento é realizado, normalmente, de forma automática, através de um processador vertical ou horizontal. Este equipamento poderá ser considerado uma fonte emissora de formaldeído caso não seja estanque, contribuindo para a contaminação da área envolvente do local onde se encontra. Apenas num dos laboratórios o processador estava colocado na sala de entradas (LabA), estando posicionado, nos restantes, em salas anexas, possibilitando, assim, a exposição a formaldeído nesses locais. Este equipamento implica a substituição regular dos líquidos, dependendo do número médio de peças a processar diariamente no laboratório. A mudança é normalmente realizada por técnicos de anatomia patológica e envolve também exposição a formaldeído, porque um dos líquidos a substituir é o formol.
3. A *Inclusão* consiste em obter um bloco sólido composto pelo fragmento e o meio de inclusão, mediante um processo de arrefecimento lento. Este processo tem como finalidade obter um bloco com uma dureza homogénea, permitindo realizar cortes de qualidade sem que exista distorção ou fragmentação das estruturas constituintes do tecido a analisar. No decorrer desta tarefa não ocorre exposição a formaldeído, sendo normalmente desenvolvida por técnicos de anatomia patológica.
4. A *Microtomia* é necessária para que os cortes histológicos sejam observados ao microscópio óptico composto. Como os tecidos e órgãos são opacos à luz, devido à sua espessura e densidade, devem ser realizados cortes finos e translúcidos com o recurso a instrumentos designados de micrótomos. A microtomia é a técnica utilizada para



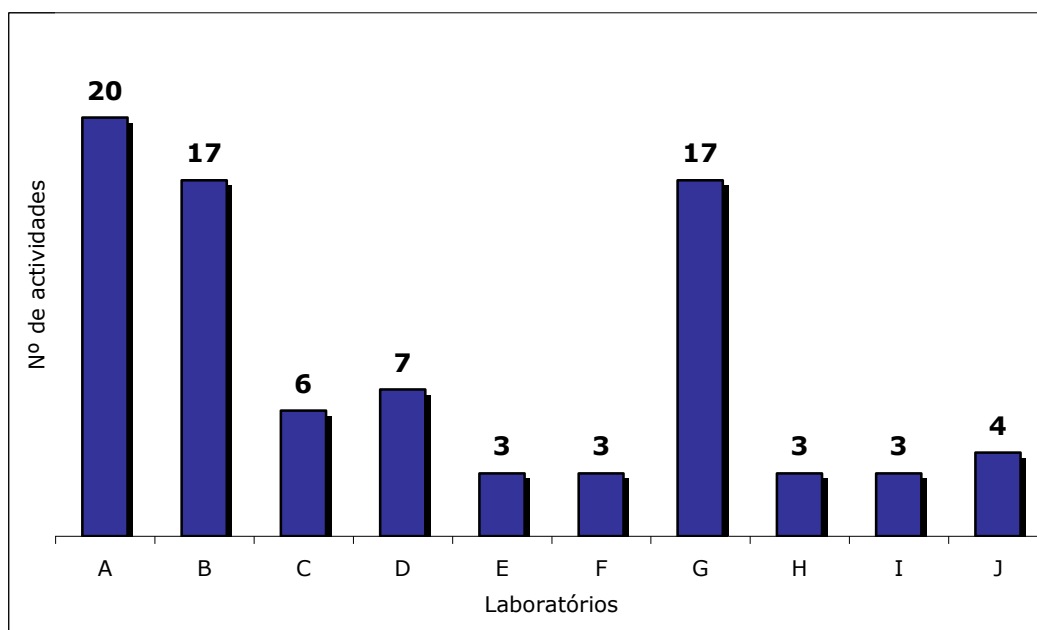
realizar cortes na ordem de  $10^{-6}$  das amostras que estão incluídas em parafina. Estes cortes são posteriormente colocados nas lâminas para posterior observação. Nesta etapa não há exposição a formaldeído porque não ocorre qualquer contacto com o formol.

5. A *Criotomia* é uma técnica utilizada quando se necessita de preservar e evidenciar substâncias ou determinadas estruturas que, de acordo com as suas propriedades, podem desaparecer com a técnica normal ou, no caso da imunofluorescência, em que é preciso trabalhar com tecidos não fixados. Esta técnica implica a utilização de equipamentos específicos. Igualmente esta tarefa é desenvolvida por técnicos de anatomia patológica e não se verifica exposição a formaldeído por não envolver qualquer contacto com o formol.
6. A *Coloração* visa tornar possível o estudo e a visualização das características físicas e químicas dos tecidos e outros componentes celulares através de uma série de processos físicos, físico-químicos e químicos. É uma característica que pode variar consoante a natureza da peça, o processo de fixação, os corantes utilizados e a temperatura ambiente. Esta tarefa, desenvolvida por técnicos de anatomia patológica, apresenta como principal objectivo o facilitar da observação de estruturas ao microscópico. A exposição a formaldeído pode ocorrer, pontualmente, se este agente fizer parte da constituição de algum dos produtos utilizados.
7. A observação das lâminas preparadas nos processos anteriormente descritos, *Observação microscópica*, permite descrever o tecido em análise e, por fim, efectuar o diagnóstico. É uma etapa desenvolvida pelo médico anatomo-patologista e que requer muita precisão e acuidade visual. Não envolve exposição a formaldeído nem a qualquer outro agente químico.
8. A *Eliminação de reservas* consiste na eliminação das peças anatómicas que permaneceram armazenadas até à realização do relatório anatomopatológico. Este processo, dependendo dos métodos de trabalho de cada laboratório, pode requerer a remoção das peças da solução de formaldeído (formol), aumentando, desta forma, a exposição ocupacional a este agente químico. Por outro lado, esta exposição pode ser reduzida consideravelmente caso os recipientes permaneçam fechados durante o processo de eliminação. Assim, entende-se que se trata de uma actividade onde a exposição a formaldeído ocorre, envolvendo técnicos de anatomia patológica e auxiliares na sua realização.

Como se pode constatar, é frequente a utilização de formol nos laboratórios de anatomia patológica, promovendo a libertação de vapores de formaldeído para o ambiente de trabalho, com particular destaque para as actividades desenvolvidas na sala de entradas. É este o local específico de eleição para o uso da solução de formaldeído (formol), uma vez que é neste local que mais frequentemente se procede às actividades de recepção e acondicionamento do material biológico impregnado em formol proveniente dos restantes serviços hospitalares, a lavagem das peças anatómicas impregnadas com esta solução e a descrição macroscópica do material recebido.

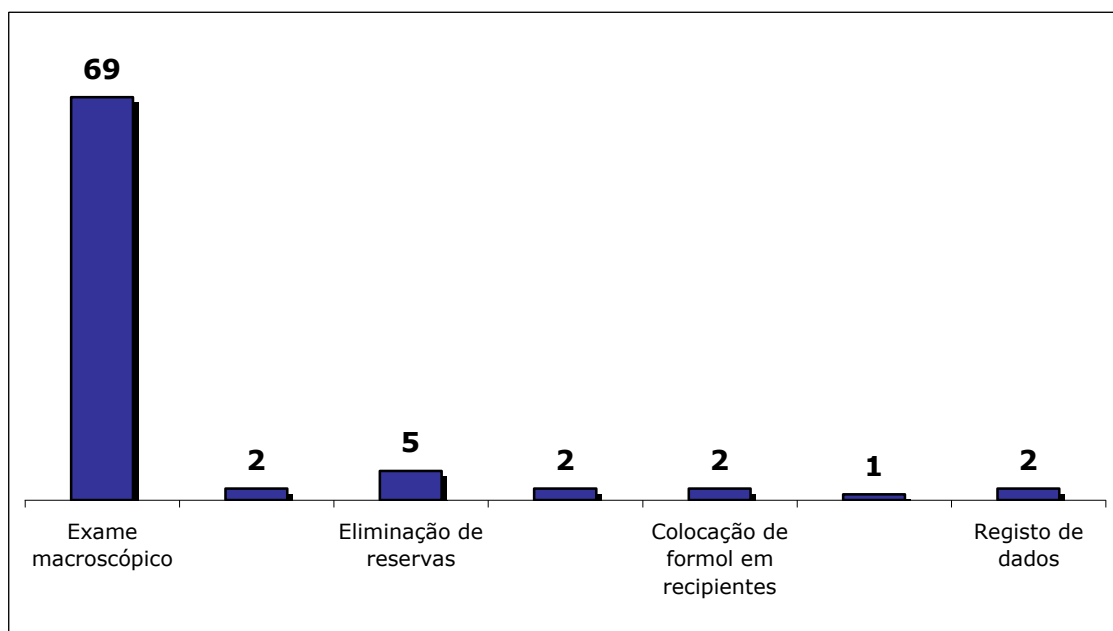
No LabA registou-se o maior número de actividades estudadas (20), enquanto o menor número (3) correspondeu aos laboratórios E, F e I. A diferença existente no número de actividades estudadas por laboratório deve-se ao facto de as actividades estudadas corresponderem às que se realizaram em cada laboratório no dia em que se realizaram as medições ambientais (*cf.* Figura 2.2).

No total foram, assim, avaliadas 83 situações de exposição.



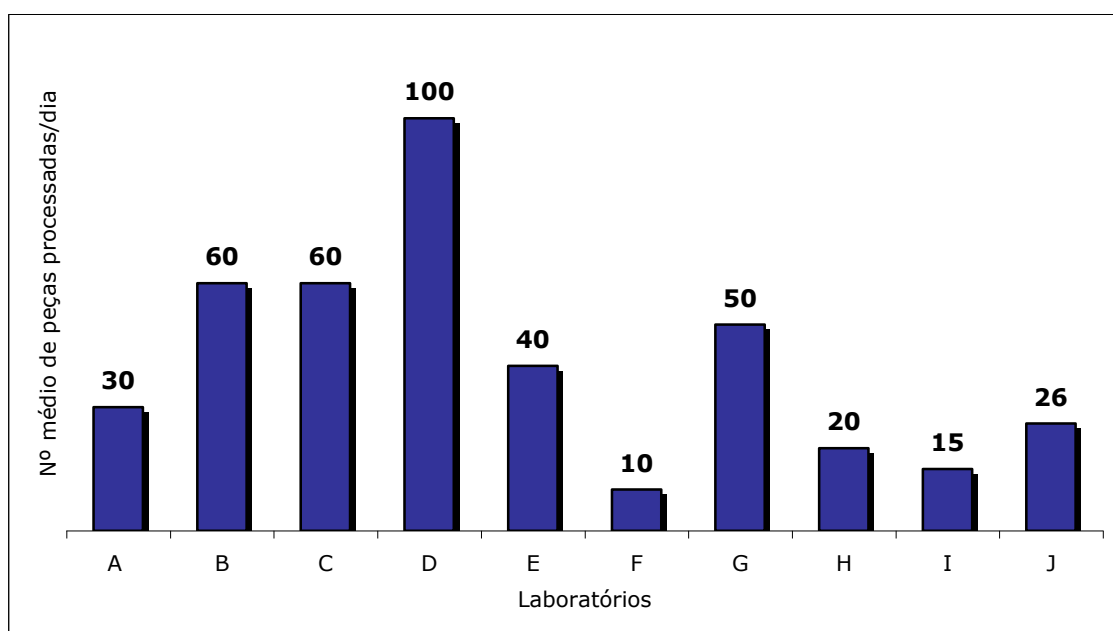
**Figura 2.2: Número de actividades estudadas por laboratório.**

A actividade que foi possível estudar um maior número de vezes foi o “exame macroscópico” (n=69), o que se deveu ao facto de ser a que se realiza com maior frequência na sala de entradas, local onde se realizaram maioritariamente as acções de avaliação ambiental pelo Método 1 (*cf.* Figura 2.3).



**Figura 2.3: Número de medições por actividade estudada.**

O número médio de peças processadas por dia na sala de entradas em cada laboratório apresentou valores entre 10 (LabF) e 100 (LabD) (*cf.* Figura 2.4). Esta informação foi facultada pelos trabalhadores afectos à sala de entradas.

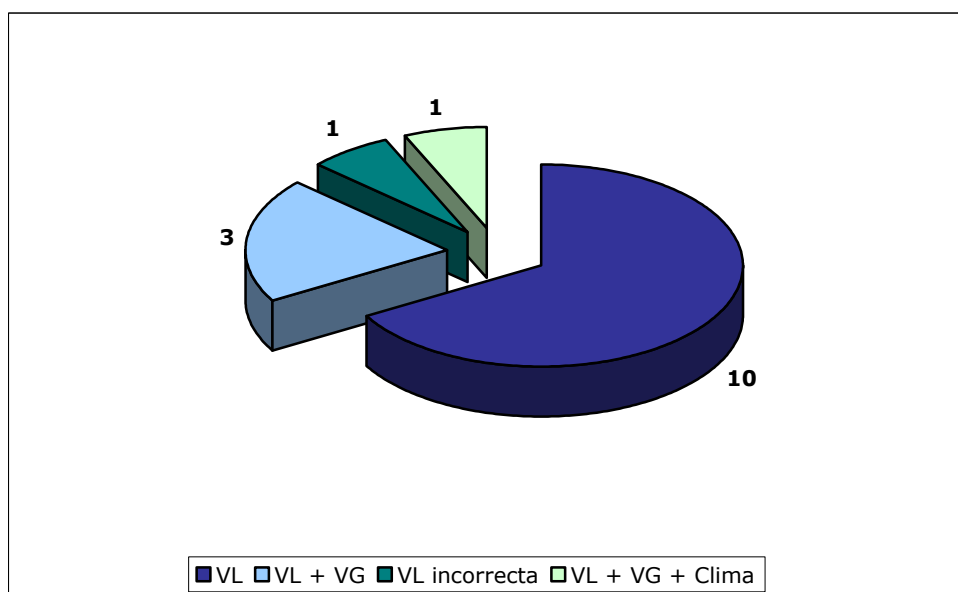


**Figura 2.4: Número médio de peças processadas por dia em cada laboratório.**

Pela influência que podem assumir na concentração de formaldeído no ar ambiente e, portanto, na situação de exposição a este químico, foi apreciado o tipo de sistema de ventilação existente em cada local.

Todos os laboratórios estavam dotados de dispositivo de ventilação localizada (VL) na mesa de macroscopia.

Em 5 dos laboratórios (LabC, LabE, LabG, LabI e LabJ), este era o único recurso de ventilação, enquanto noutros 3 (LabA, LabB e LabD) estavam igualmente dotados de um sistema de ventilação geral mecanizada (VG). Em 1 laboratório (LabH) verificou-se que o único dispositivo de ventilação, do tipo VL, estava posicionado de forma incorrecta porque promovia a movimentação do ar no sentido do aparelho respiratório dos utilizadores. Por fim, o LabF estava dotado de um sistema VL e de outro VG, bem como de um sistema de climatização (aquecimento e arrefecimento do ar) (*cf.* Figura 2.5).



**Figura 2.5: Distribuição das condições de ventilação na amostra estudada.**

### **2.3 Avaliação ambiental**

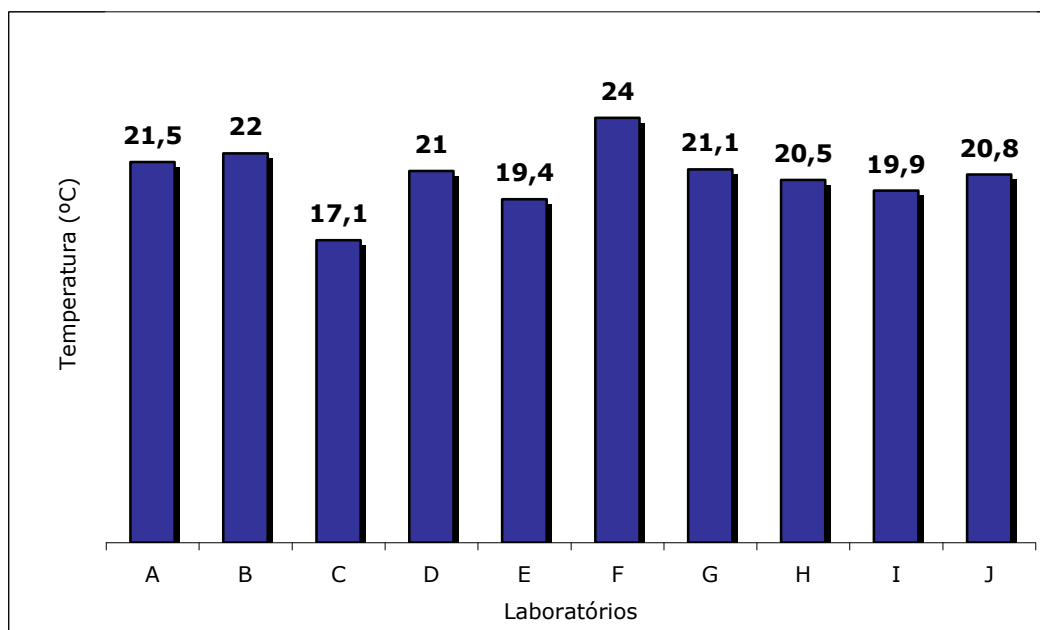
Os dois métodos de avaliação ambiental das concentrações de formaldeído (Método 1 e Método 2) foram aplicados em simultâneo, mas optando por estratégias de medição distintas. O Método 1 (M1) estudou as concentrações máximas de formaldeído por actividade e o Método 2 (M2) estudou a exposição

média ponderada para 8 horas de um indivíduo de cada grupo de exposição em cada laboratório. Concretamente, no caso do método M1, os resultados apresentados referem-se aos valores de concentração mais elevados obtidos em cada actividade e o método M2 a valores de concentração média durante o período de amostragem adoptado.

### 2.3.1 Temperatura ambiente e humidade relativa

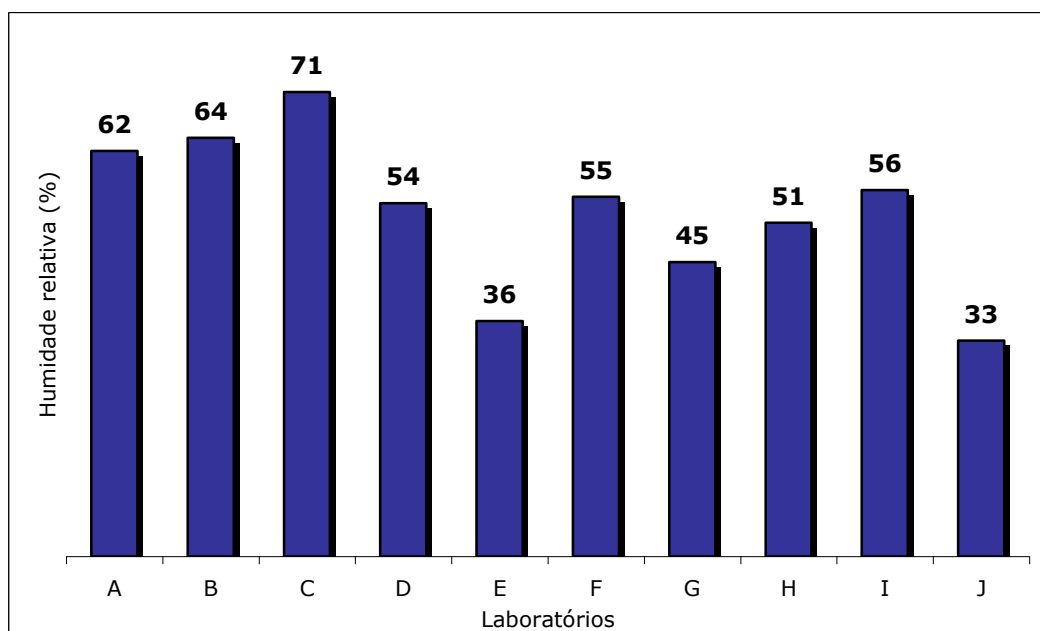
Além das concentrações de formaldeído, procedeu-se à medição de dois parâmetros ambientais, conhecidos por influenciarem a volatilização do formaldeído e, portanto, susceptíveis de influenciarem os níveis de contaminação ambiental local: a temperatura ambiente e a humidade relativa.

No caso da temperatura ambiente, o LabF apresentou o valor de temperatura mais elevado (24º C) e o LabC apresentou o mais baixo (17º C) (*cf.* Figura 2.6).



**Figura 2.6: Resultados da temperatura ambiente (°C) por laboratório.**

No que concerne à humidade relativa, LabC apresentou o valor de humidade relativa mais elevado (71,3%) e LabJ o mais baixo (33%) (*cf.* Figura 2.7).



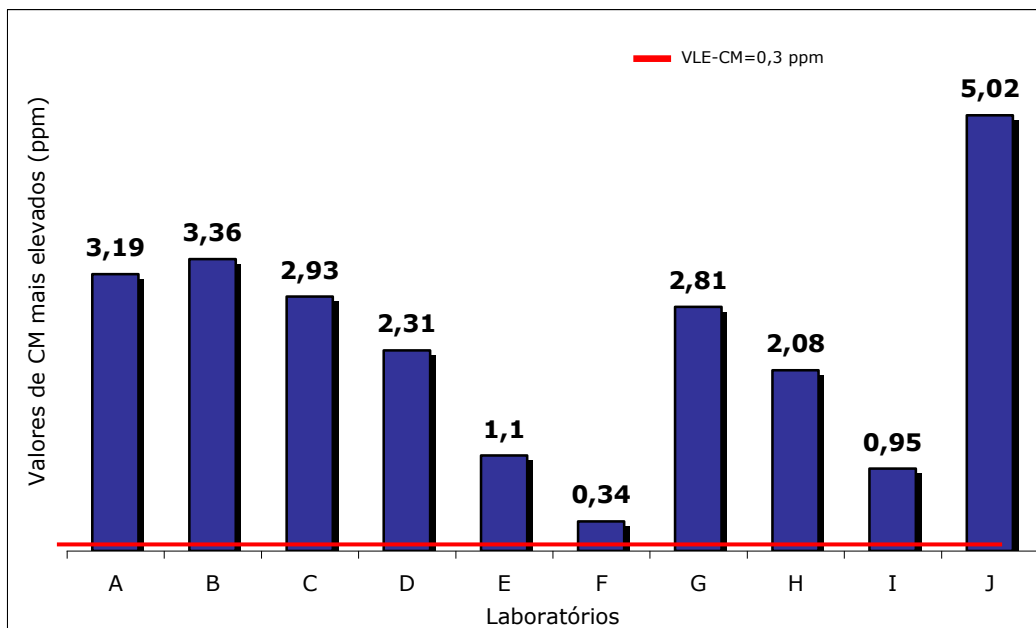
**Figura 2.7: Resultados da humidade relativa (%) por laboratório.**

### 2.3.2 Método M1

A aplicação do método M1 envolveu a utilização de equipamento de leitura directa em que a medição se realizou por *Photo Ionization Detection* (com uma lâmpada de 11,7 eV). Devido a esta particularidade, todos os valores de concentração obtidos por este equipamento foram sujeitos a uma correcção através da aplicação de uma equação matemática que representa a relação existente entre as concentrações de formaldeído e de metanol presentes no ar ambiente quando se manipula um produto com as duas substâncias (*cf.* Cap. IV – Metodologia, p. 81).

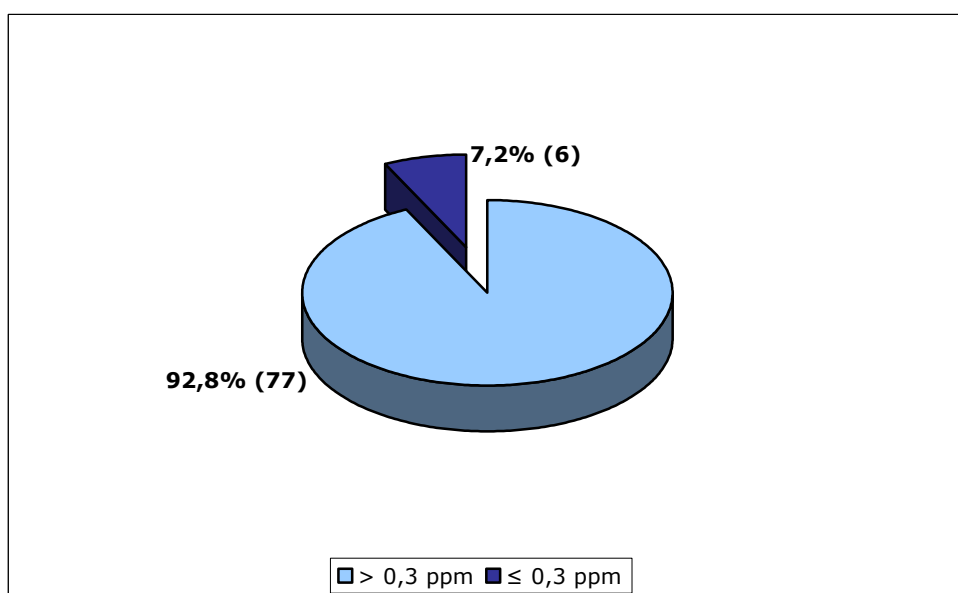
Os resultados assim corrigidos representam, portanto, os valores de concentração de formaldeído a considerar no estudo efectuado (*cf.* Apêndice II). Acresce, ainda, o facto de estes valores serem os mais elevados (para permitir a comparação com o VLE-CM) obtidos durante o desenrolar de cada actividade estudada.

Em todos os laboratórios considerados foram obtidos valores para a concentração máxima corrigidos (CM\*) de formaldeído superiores ao valor limite (0,3 ppm) previsto na NP 1796:2007 (VLE-CM). O LabJ apresentou o valor de CM\* mais elevado (5,02 ppm) e o LabF o valor mais baixo (0,34ppm) (*cf.* Figura 2.8).



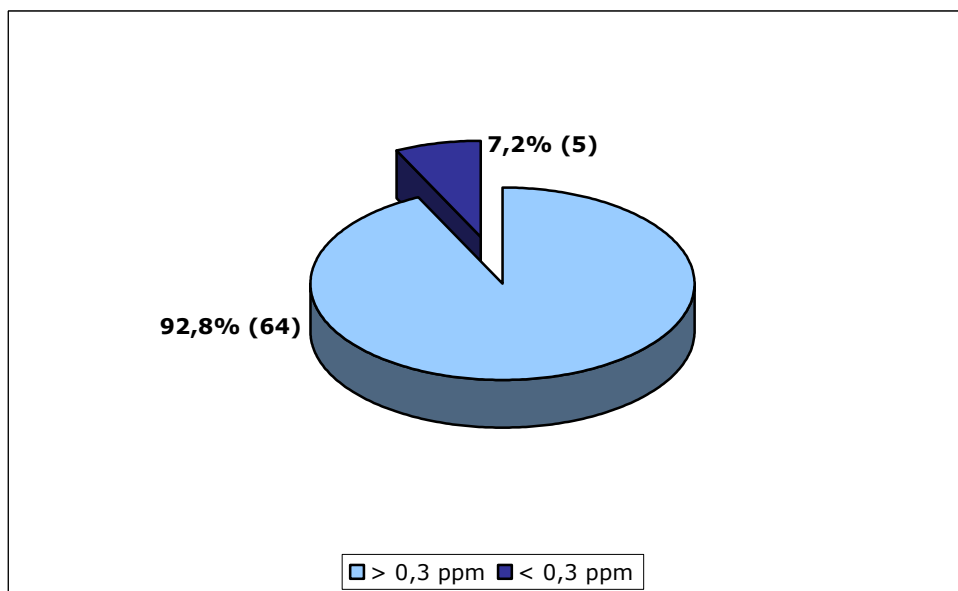
**Figura 2.8: Valores mais elevados de CM\* obtidos por laboratório.**

Comparando a totalidade dos resultados da CM\* nas actividades estudadas (n=83), verifica-se que 92,8% (77) são superiores ao Valor Limite de Exposição definido (VLE-CM=0,3 ppm) (cf. Figura 2.9).



**Figura 2.9: Distribuição dos valores da CM\* nas actividades estudadas.**

De entre todas as actividades, acresce, foi no “exame macroscópico” que se verificou a maior prevalência de resultados superiores àquele limite (92,8%), situação que é constante nos diversos laboratórios (*cf.* Figura 2.10).

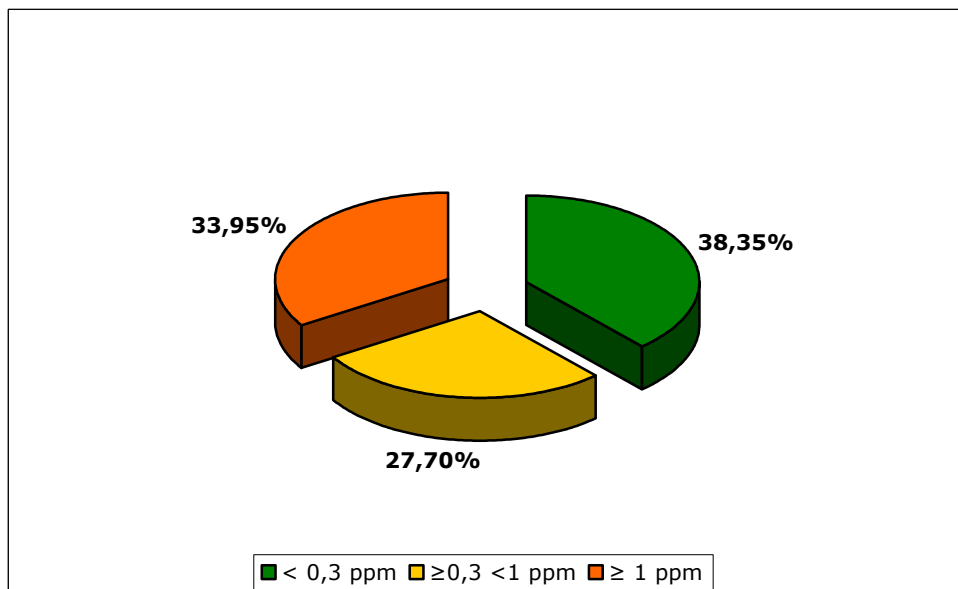


**Figura 2.10: Distribuição dos valores das CM\* nos exames macroscópicos.**

O método M1 disponibilizou, para cada actividade estudada, valores de concentração registados ao segundo (*cf.* Apêndice III). Esses valores de concentração foram distribuídos por diferentes intervalos considerados pertinentes para o presente estudo (*cf.* Figuras 2.11 a 2.20).

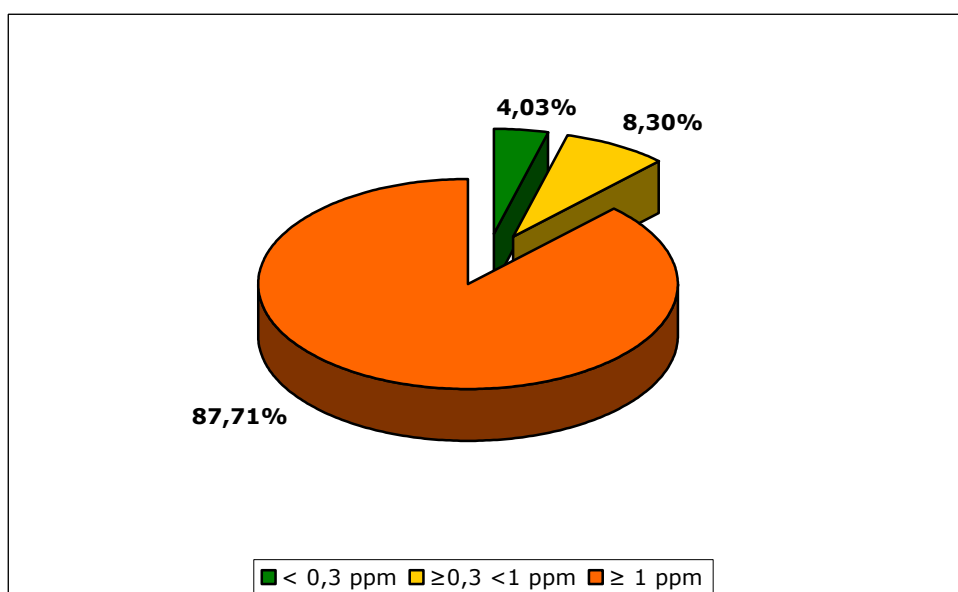
A maioria dos resultados obtidos no LabA registou valores de concentração superiores a 0,3 ppm (61,7%), com cerca de 28% dos valores enquadrados entre 0,3 e 1 ppm e 34% com valores iguais ou superiores a 1 ppm (*cf.* Figura 2.11).





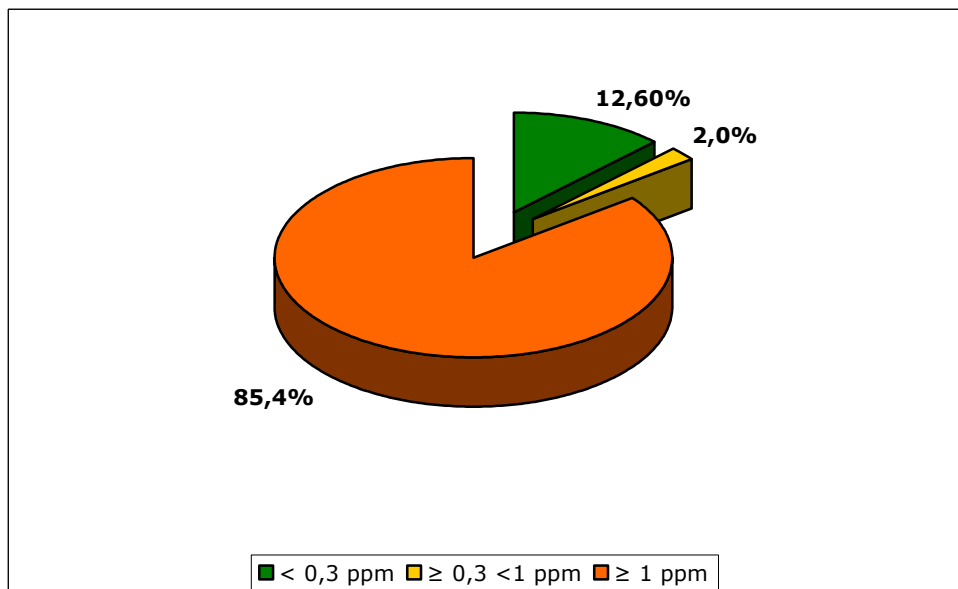
**Figura 2.11: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabA.**

No LabB, a maioria dos valores obtidos para a concentração de formaldeído foi igual ou superior a 1 ppm (87,7%). Apenas uma pequena percentagem dos valores registados foi inferior a 0,3 ppm (4%) e igual ou maior a 0,3 ppm (8,3%) (cf. Figura 2.12).



**Figura 2.12: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabB.**

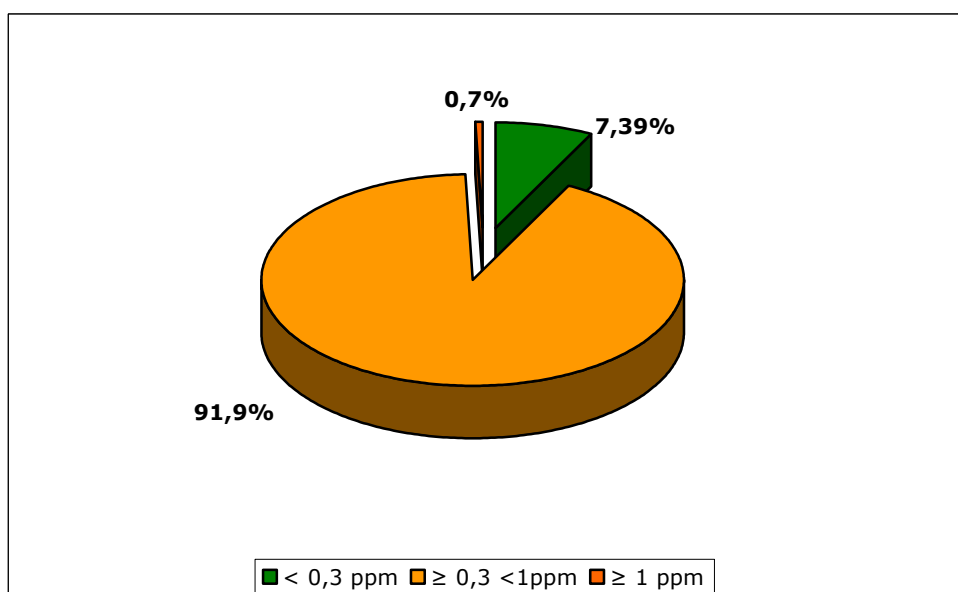
A maioria dos resultados registrados no LabC foi igual ou superior a 1 ppm (85,4%). Expressão reduzida apresentaram os valores de concentração inferiores a 0,3 ppm (cerca de 13%) e superiores ou iguais a esse valor-limite (2,0%) (cf. Figura 2.13).



**Figura 2.13: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabC.**

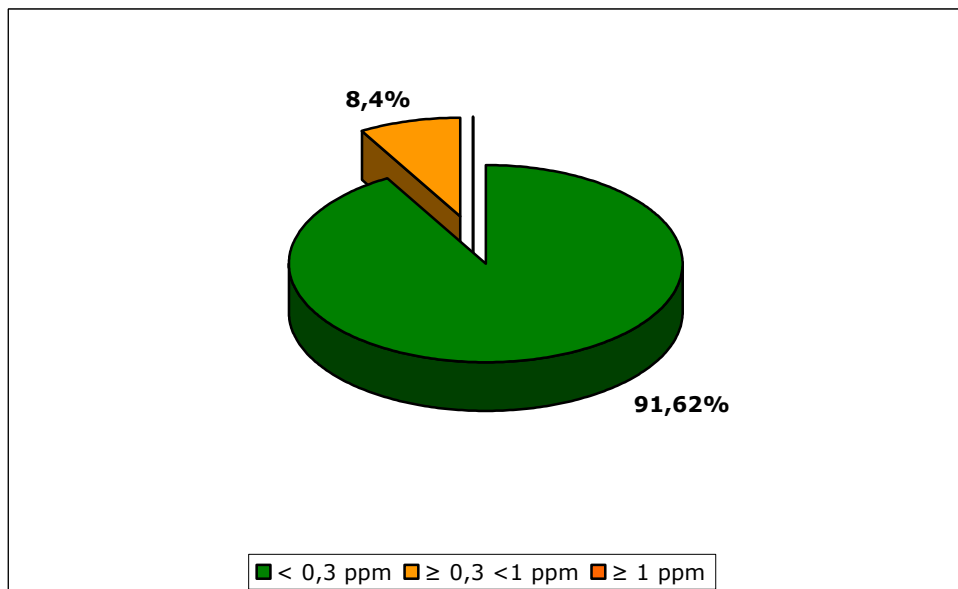
No LabD, a totalidade dos resultados de concentração registrados obteve valores iguais ou superiores a 1 ppm.

O LabE apresentou a maior parte dos resultados enquadrados nas concentrações superiores a 0,3 ppm e inferiores a 1 ppm (91,9%) (cf. Figura 2.14).



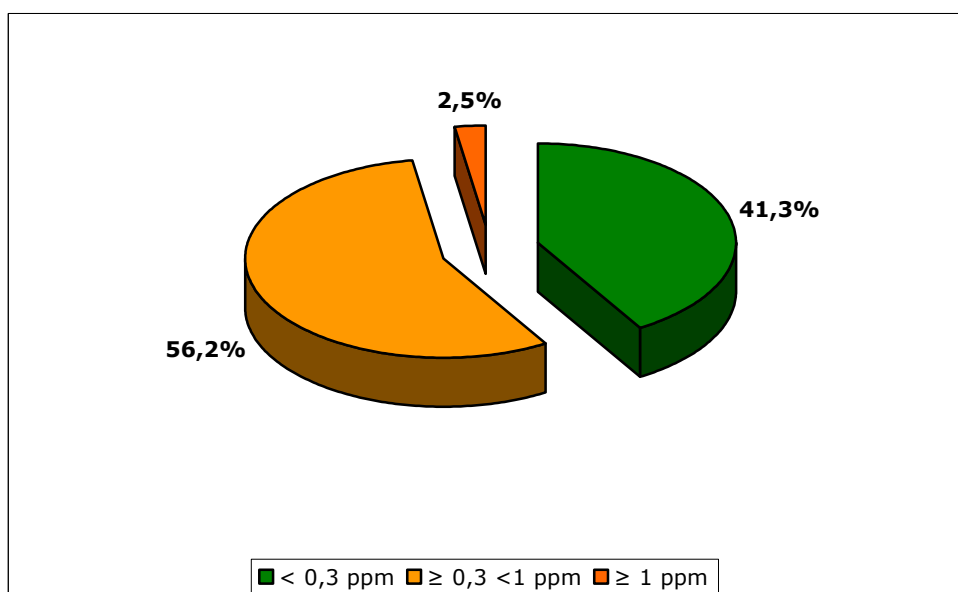
**Figura 2.14: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabE.**

A maior parte dos resultados obtidos no LabF esteve enquadrado em resultados inferiores a 0,3 ppm (91,6%). Apenas 8,4% do tempo de exposição estudado apresentou valores de concentração superiores a 0,3 ppm e inferiores a 1 ppm (cf. Figura 2.15).



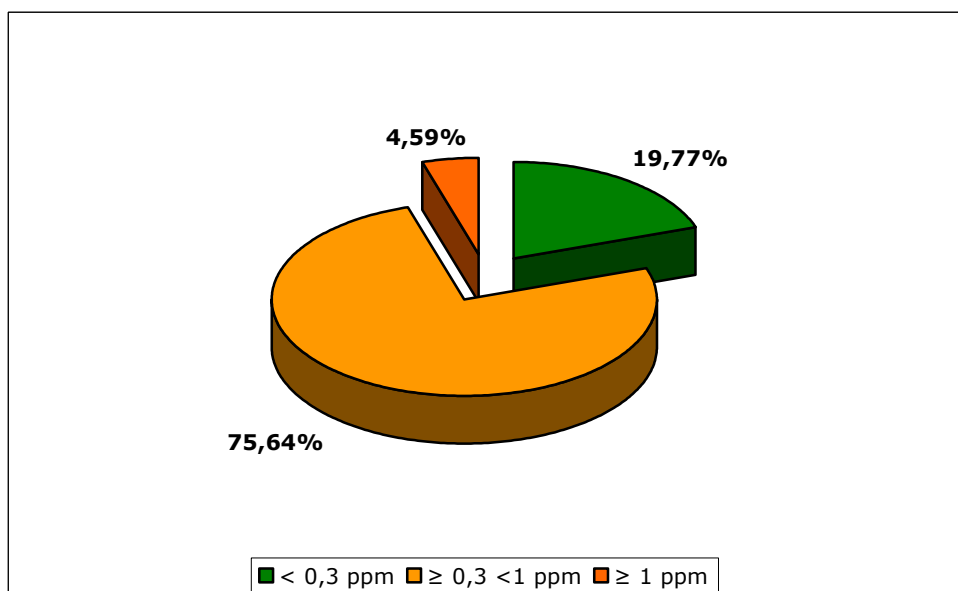
**Figura 2.15: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabF.**

No caso do LabG, 56,2% dos resultados situaram-se em valores iguais ou superiores a 0,3 ppm e inferiores a 1 ppm. Por outro lado, cerca de 41% dos resultados foram inferiores 0,3 ppm. Existiu ainda uma pequena expressão (2,5%) em valores iguais ou superiores a 1 ppm (cf. Figura 2.16).



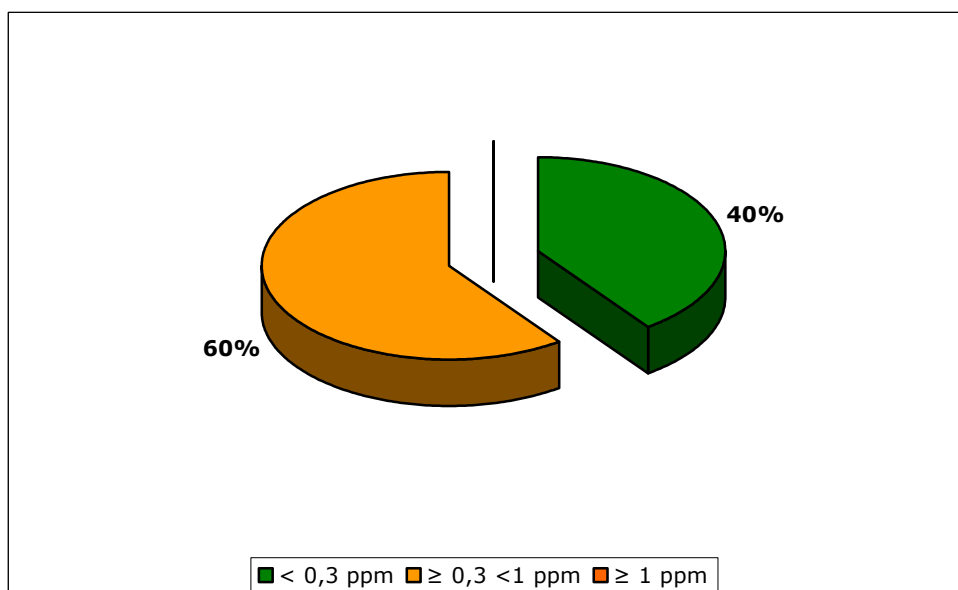
**Figura 2.16: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabG.**

No LabH, os valores inferiores a 0,3 ppm apresentaram uma incidência de 19,77%. Por outro lado, cerca de 76% do tempo de exposição estudado obteve valores de concentração iguais ou superiores a 0,3 ppm e inferiores 1 ppm. Existiu também uma pequena distribuição (4,6%) dos resultados nos valores iguais ou superiores a 1 ppm (*cf.* Figura 2.17).



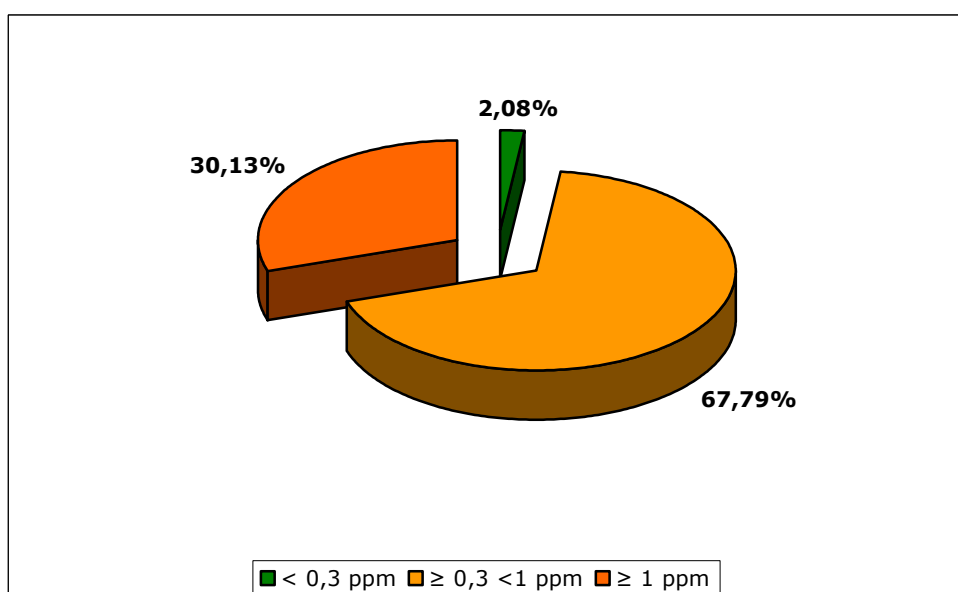
**Figura 2.17: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabH.**

No LabI, 60% do tempo de exposição estudado obteve resultados de concentrações enquadradas em valores iguais ou superiores a 0,3 ppm e inferiores a 1 ppm e o restante tempo estudado registou resultados inferiores a 0,3 ppm (*cf.* Figura 2.18).



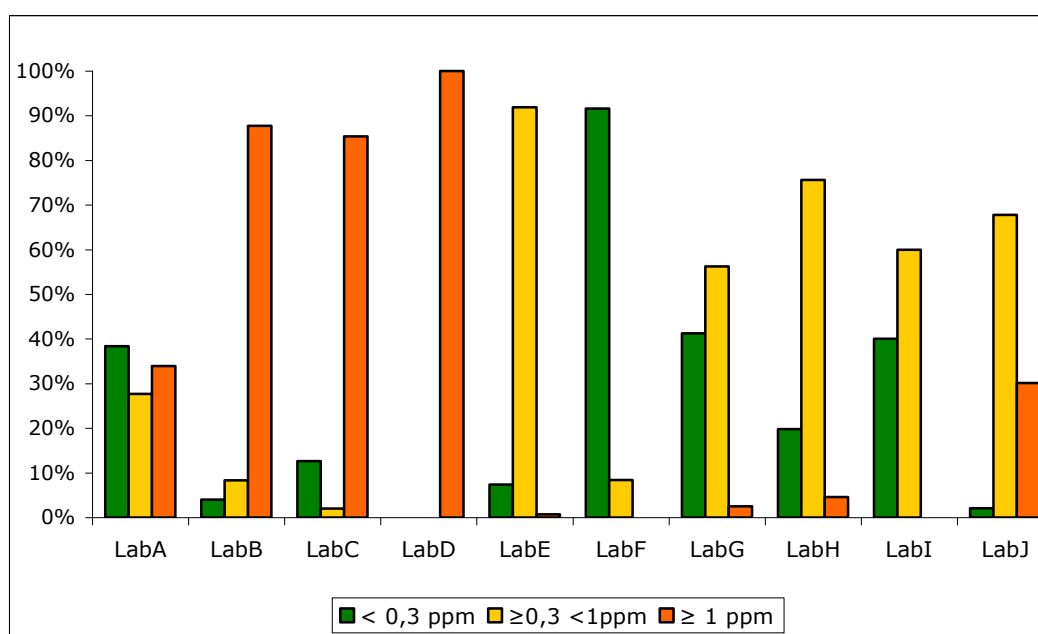
**Figura 2.18: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabI.**

No LabJ, cerca de 68% do tempo de exposição estudado obteve valores iguais ou superiores a 0,3 ppm e inferiores a 1 ppm. Os restantes resultados foram distribuídos da seguinte forma: cerca de 2% para valores inferiores a 0,3 ppm e 30% para valores iguais ou superiores a 1 ppm (cf. Figura 2.19).



**Figura 2.19: Distribuição dos valores de concentração obtidos no LabJ.**

Em termos globais, verifica-se que o LabD apresentou os resultados de exposição mais gravosos, dado que na totalidade do tempo estudado se registaram valores iguais ou superiores a 1 ppm. Pelo contrário, o LabF foi o que apresentou os resultados menos nocivos, a maioria dos quais (91,62%) inferiores a 0,3 ppm (*cf.* Figura 2.20).



**Figura 2.20: Distribuição dos valores da concentração (%) obtidos por laboratório.**

O mesmo método de avaliação ambiental permitiu igualmente obter dados de CM\* por cada actividade estudada e identificar o(s) grupo(s) de exposição envolvido(s).

No LabA apenas duas das actividades estudadas (“colocação de formol em recipientes” e “substituição do formol dos recipientes”) foram desenvolvidas pelo grupo de exposição dos auxiliares, sendo as restantes (“exame macroscópico”) realizadas por médicos anátomo-patologistas (*cf.* Quadro 2.1).

**Quadro 2.1: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabA**

<b>Actividades</b>	<b>Grupos de exposição</b>	<b>CM (ppm)</b>	<b>CM* (ppm)</b>
EM vesícula	Médico	4,93	3,09
EM apêndice	Médico	5,09	3,19
EM lipoma	Médico	4,01	2,44
EM pele	Médico	0,41	0,35
EM coração	Médico	0,53	0,42
EM trompa	Médico	0,79	0,58
EM ovário	Médico	0,57	0,45
EM quistos do ovário	Médico	0,41	0,35
EM tiróide	Médico	0,40	0,34
EM tecido adiposo mama	Médico	0,97	0,69
EM mama	Médico	2,08	1,36
EM mama	Médico	1,00	0,71
EM mama	Médico	0,73	0,55
EM útero	Médico	0,62	1,22
EM rim	Médico	1,10	0,75
EM rim	Médico	1,40	0,85
EM rim	Médico	0,47	0,38
EM recto	Médico	1,38	0,91
Colocação de formol em recipientes	Auxiliar	3,96	2,51
Substituição do formol dos recipientes	Auxiliar	1,58	1,05

EM – Exame macroscópico

No caso do LabB, algumas actividades envolveram a exposição simultânea de dois grupos de exposição (médico e técnico), devido ao facto de ambos os profissionais se encontrarem muito próximos da fonte emissora, no caso, a peça anatómica impregnada com formol durante a realização do “exame macroscópico” (cf. Quadro 2.2).

**Quadro 2.2: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabB**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM peças pequenas	Médico	4,23	2,67
EM peças pequenas	Médico	3,02	1,93
EM fibromatose	Médico	4,30	2,71
EM fibromatose	Médico e Técnico	3,89	3,36
EM olho	Médico	2,30	1,49
EM vesícula	Médico	3,99	2,52
EM vesícula	Médico	3,19	2,04
EM feto	Médico	3,77	2,39
EM feto	Técnico	3,41	2,07
EM restos placentares	Técnico	3,33	2,12
EM epiderme	Médico	2,42	1,55
EM útero	Médico	2,51	1,62
EM útero	Médico e Técnico	4,02	2,54
EM tiróide	Médico e Técnico	3,15	2,01
EM tiróide	Médico e Técnico	3,37	2,14
Remoção do excesso de formol	Auxiliar	0,86	0,62
Biópsias	Técnico	2,98	1,91

EM – Exame macroscópico

No que concerne às actividades estudadas no LabC considerou-se a exposição simultânea de dois grupos (médico e técnico) para a concentração medida (*cf.* Quadro 2.3).

**Quadro 2.3: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabC**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
Eliminação de reservas	Auxiliar	0,71	0,53
EM intestino inteiro	Médico	2,35	1,53
EM ânus e recto	Médico	3,19	2,04
Realização de 2 EM em simultâneo	Médico	4,66	2,93
Realização de 2 EM +Biópsias+Lavagem de peças	Médico e Técnico	3,49	2,22
Lavagem de útero + adição de formol	Técnico	3,60	2,28

EM – Exame macroscópico



No LabD foram essencialmente estudadas as exposições nos exames macroscópicos. Apesar de o registo informático dos dados referentes a cada peça não envolver a utilização/manuseamento de formol, optou-se por se estudar a exposição devido ao facto de se realizar na sala de entradas durante o decorrer dos exames macroscópicos (*cf.* Quadro 2.4).

**Quadro 2.4: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabD**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM peça indeterminada	Médico	3,64	2,31
EM útero	Médico	3,61	2,29
EM ovários	Médico	3,45	2,19
EM peça indeterminada	Médico	3,55	2,26
EM fragmentos de autópsias	Médico	3,33	2,12
EM encéfalo	Médico	3,29	2,09
Registo de dados (durante o EM)	Técnico	1,23	0,85

EM – Exame macroscópico

No LabE apenas se estudou a exposição em exames macroscópicos, dado que, aquando da realização das avaliações ambientais, não terem ocorrido outras actividades que envolvessem a utilização/manuseamento de formol (*cf.* Quadro 2.5).

**Quadro 2.5: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabE**

Actividades	Grupos de exposição	CM* (ppm)	CM* (ppm)
EM peles	Técnico	1,23	0,85
EM peças pequenas	Médico	1,66	1
EM fígado	Médico	1,40	0,95

EM – Exame macroscópico

No caso do LabF apenas foi possível estudar 2 exames macroscópicos por se tratar de um laboratório com actividade mais reduzida (em média, processa apenas 10 peças anatómicas por dia) (*cf.* Quadro 2.6).

**Quadro 2.6: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabF**

Actividades	Grupos de exposição	CM* (ppm)	CM* (ppm)
EM útero	Médico	0,40	0,34
EM útero	Médico	0,19	0,22
Movimentação de recipientes da sala de entradas	Auxiliar	0,30	0,28

EM – Exame macroscópico

No LabG registou-se uma maior diversidade de actividades estudadas (“exames macroscópicos, biópsias, eliminação de reservas e colocação de formol em recipientes”), embora os exames macroscópicos tenham sido das actividades que se registaram em maior número (*cf.* Quadro 2.7).

**Quadro 2.7: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabG**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM tiróide	Médico	0,59	0,46
EM vesícula	Médico	0,33	0,29
EM útero	Médico	0,51	0,41
EM mama	Médico	4,47	2,81
EM restos ovulares	Médico	0,60	0,47
EM útero e anexos	Médico	0,53	0,42
EM apêndice e tiróide	Médico	0,43	0,36
EM próstata	Médico	0,76	0,56
EM nódulo	Médico	0,41	0,35
EM sinais	Médico	0,13	0,18
EM lipoma	Médico	0,39	0,34
EM estômago	Médico	0,13	0,18
EM cólon	Médico	0,57	0,45
Biópsias	Técnico	1,91	1,26
Colocação de formol em recipientes	Auxiliar	0,88	0,64
Eliminação de reservas	Auxiliar	1,00	0,71
Eliminação de reservas	Auxiliar	0,91	0,65

EM – Exame macroscópico

No caso do LabH, a eliminação de reservas envolveu a exposição de dois grupos de exposição, dado ser realizada por um técnico e por um auxiliar. Esta situação é comum, pois normalmente o técnico de anatomia patológica procede à selecção das peças a eliminar e colabora na sua eliminação juntamente com o auxiliar (*cf.* Quadro 2.8).

**Quadro 2.8: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabH**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM fístula	Médico	1,84	1,21
EM mama	Médico	3,27	2,08
Eliminação de reservas	Técnico e Auxiliar	0,96	0,68

EM – Exame macroscópico

No LabI, a actividade “eliminação de reservas” foi efectuada apenas por um auxiliar (*cf.* Quadro 2.9).

**Quadro 2.9: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabI**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM peças pequenas	Médico	0,62	0,47
EM útero	Médico	0,19	0,21
Eliminação de reservas	Auxiliar	1,40	0,95

EM – Exame macroscópico

No que respeita ao LabJ, além dos exames macroscópicos, estudou-se também a actividade de registo dos dados referentes ao exame macroscópico que estaria a decorrer (*cf.* Quadro 2.10).

**Quadro 2.10: Valores de CM\* e grupo de exposição para cada actividade estudada no LabJ**

Actividades	Grupos de exposição	CM (ppm)	CM* (ppm)
EM cólon (peça inteira)	Médico	8,11	5,02
EM peças pequenas (tecido dérmico)	Médico	5,69	3,56
EM vesícula	Médico	1,73	1,15
Registo de dados (durante o EM)	Técnico	6,95	4,32

EM – Exame macroscópico

O “exame macroscópico” foi, assim, a actividade ocorrida em maior número de vezes, o que determinou que fosse esta a situação de exposição mais intensamente estudada.

Considerando o tipo de peças submetidas ao exame macroscópico (as estudadas num número superior a 3), verificou-se que o valor médio dos “exames macroscópicos” da mama, pele, útero e vesícula apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p=0,014$ ;  $p=0,06$ ;  $p=0,010$ ;  $p=0,02$ , respectivamente). Apenas para os valores médios do “exame macroscópico” do ovário e quistos e da tiróide não se verificou esta condição ( $p>0,05$ ).

O valor de CM\* mais elevado correspondeu ao “exame macroscópico” de vesículas (média de 2,02 ppm, com um intervalo entre 0,29 e 3,09 ppm). A amplitude de variação mais acentuada registou-se nos exames macroscópicos da pele (0,18 a 3,56 ppm) (cf. Quadro 2.11).

**Quadro 2.11: Resultados da CM\* nos exames macroscópicos mais estudados**

Actividade	Número de situações estudadas	Intervalo de valores (ppm)	Média (ppm)	Desvio padrão (ppm)
EM mama	6	0,55 – 2,81	0,83	1,37
EM ovário e quistos	4	0,35 – 2,19	0,87	0,77
EM peles	10	0,18 – 3,56	1,29	1,07
EM tiróide	5	0,34 – 2,14	1,06	0,83
EM útero	9	0,21 – 2,54	1,03	0,87
EM vesícula	5	0,29 – 3,09	2,02	1,11

EM – Exame macroscópico

Considerando a totalidade dos resultados obtidos para a CM\* nas actividades estudadas, verificou-se que os valores médios dos três grupos de exposição considerados apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Auxiliar  $p=0,002$ ; Médico  $p=0,0$ ; Técnico  $p=0,0$ ).

O valor médio mais elevado da CM\* (2,04 ppm) verifica-se nos técnicos de anatomia patológica, mas a maior amplitude de resultados observa-se nos médicos anatomo-patologistas (0,21 ppm a 5,02 ppm) (cf. Quadro 2.12).

**Quadro 2.12: Dados globais dos valores de CM\* por grupo de exposição**

<b>Grupos de exposição</b>	<b>Nº de actividades estudadas*</b>	<b>Intervalo de valores (ppm)</b>	<b>Média (ppm)</b>	<b>Desvio Padrão (ppm)</b>
Auxiliar	9	0,28 – 2,51	0,86	0,58
Médico anátomo-patologista	65	0,21 – 5,02	1,42	1,07
Técnico de anatomia patológica	14	0,68 – 4,32	2,04	0,95

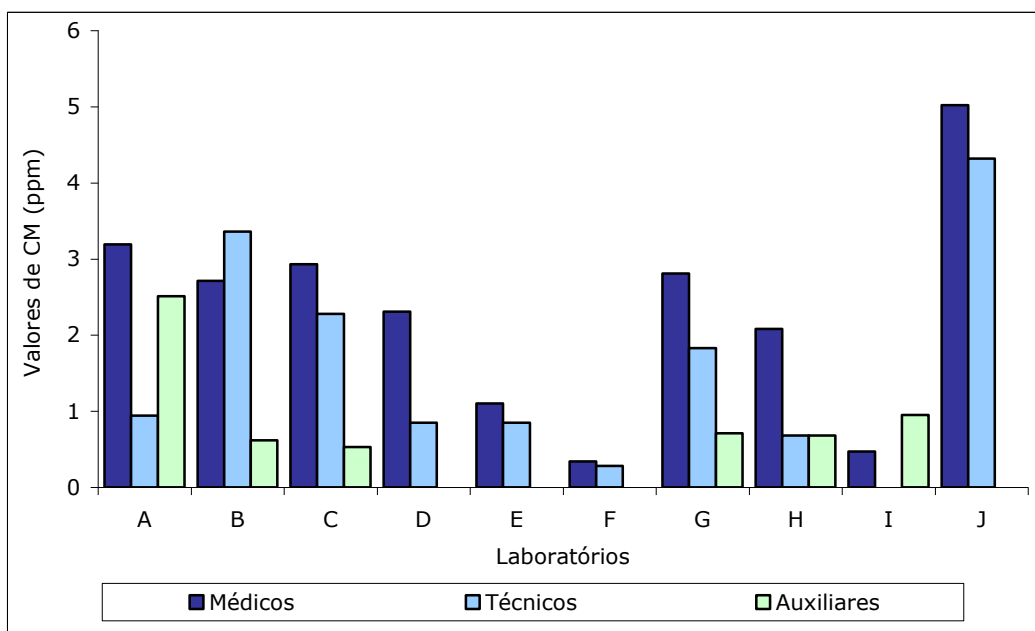
\* Algumas das actividades envolveram a exposição simultânea de dois grupos de exposição.

Nos grupos de exposição dos médicos anátomo-patologistas e dos técnicos de anatomia patológica foi o LabJ que apresentou o valor mais elevado para a CM\* (5,02 ppm e 4,32 ppm, respectivamente). Por outro lado, o LabF apresentou, para os mesmos grupos de exposição, o valor mais baixo de CM\* (0,34 ppm e 0,28 ppm, respectivamente) (*cf.* Figura 2.21).

No LabI não foi possível medir as concentrações de formaldeído em actividades que envolvessem o grupo de exposição dos técnicos de anatomia patológica (*cf.* Figura 5.21).

No caso do grupo de exposição dos auxiliares, o LabA apresentou o valor mais elevado de CM\* (2,51 ppm) e o LabC o valor mais baixo (0,53 ppm). Nos LabD, LabE e LabF não foi possível medir a concentração de formaldeído em actividades desenvolvidas por auxiliares. No LabJ não existia um auxiliar afecto ao laboratório de anatomia patológica (*cf.* Figura 2.21).

Com excepção dos LabB e LabI, o grupo de exposição dos médicos anátomo-patologistas foi o que esteve sempre exposto aos valores mais elevados de CM\* (*cf.* Figura 2.21).



**Figura 2.21: Valores mais elevados de CM\* por grupo de exposição.**

### 2.3.3 Método M2

A aplicação do método M2 conduziu à avaliação da exposição em função dos pressupostos do próprio método sendo os valores obtidos, quando o período de amostragem fosse inferior ao período de exposição, sujeitos à correcção pela equação prevista na NP EN 689:2008 (*cf.* Capítulo IV). No final, esta questão apenas se verificou no LabJ e para o caso do grupo de exposição do técnico de anatomia patológica. Assim, após a aplicação da equação referida, obteve-se o valor de 0,08 ppm.

Foi, assim, estimada a Concentração Média Ponderada (CMP) a formaldeído em cada laboratório e segundo os grupos de exposição.

Em alguns laboratórios obtiveram-se valores muito baixos, não tendo sido possível determiná-los por serem inferiores ao limite de detecção do método aplicado (NIOSH 2541).

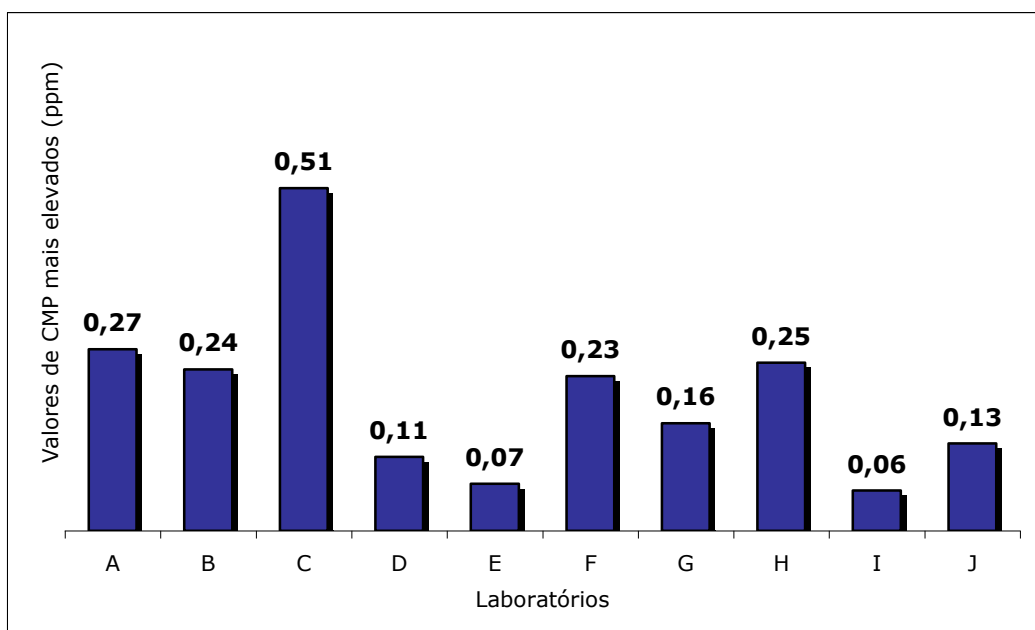
Todos os valores obtidos se situam abaixo do Valor Limite (TLV-TWA) estabelecido pela OSHA (0,75 ppm), sendo este o valor utilizado como referencial dado não estar definido em Portugal (*cf.* Quadro 2.13).

**Quadro 2.13: Resultados de CMP por laboratório e grupo de exposição**

Laboratórios	Grupos de exposição	CMP (ppm)
A	Auxiliar	0,27
	Médico	<LD
	Técnico	0,16
B	Auxiliar	0,15
	Médico	0,24
	Técnico	0,16
C	Auxiliar	0,12
	Médico	0,47
	Técnico	0,51
D	Auxiliar	<LD
	Médico	0,07
	Técnico	0,11
E	Auxiliar	<LD
	Médico	0,06
	Técnico	0,07
F	Auxiliar	0,09
	Médico	0,23
	Técnico	0,12
G	Auxiliar	0,16
	Médico	0,05
	Técnico	0,04
H	Auxiliar	0,25
	Médico	0,11
	Técnico	0,25
I	Auxiliar	0,05
	Médico	<LD
	Técnico	0,06
J	Médico	0,13
	Técnico	0,08

<LD – Valor inferior ao limite de detecção

O LabC apresentou o valor mais elevado (0,51 ppm) e o LabI apresentou o valor mais baixo (0,06 ppm) (*cf.* Figura 2.22).



**Figura 2.22: Valores de CMP mais elevados por laboratório.**

Considerando a totalidade dos resultados obtidos nos três grupos de exposição definidos, verifica-se que os valores médios são similares, sendo os intervalos de variação mais estreitos no caso dos auxiliares (*cf.* Quadro 2.14).

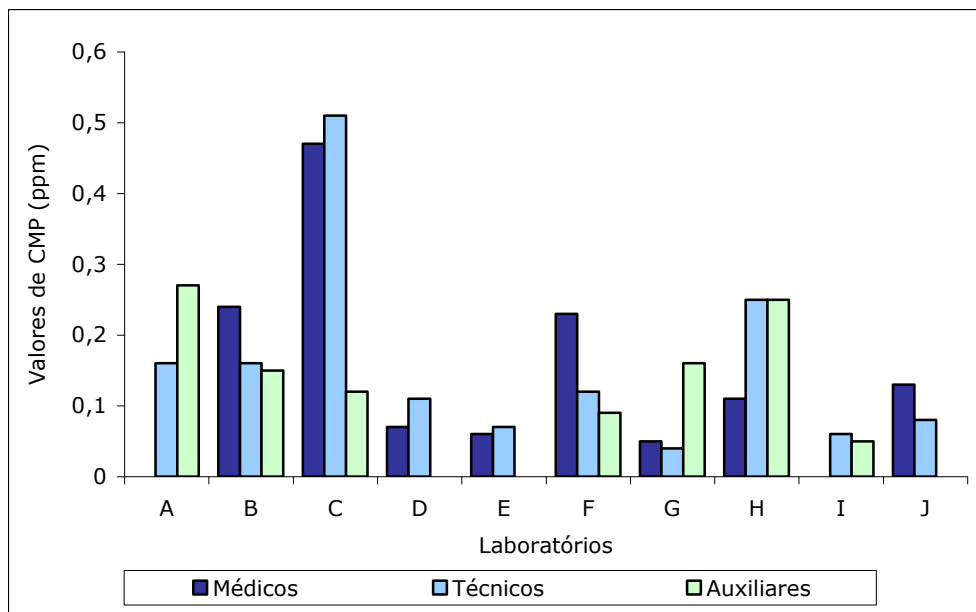
**Quadro 2.14: Dados globais dos valores de CMP por grupo de exposição**

Grupos de exposição	Número de amostras	Intervalo de valores (ppm)	Média (ppm)	Desvio Padrão (ppm)
Auxiliar	9	< LD – 0,27	0,16	0,07
Médico	10	< LD – 0,47	0,17	0,13
Técnico	10	0,04 – 0,51	0,16	0,13

<LD – Inferior ao limite de detecção

Os valores mais elevados de CMP obtidos nos diversos laboratórios apresentam diferenças quando apreciados em função dos grupos de exposição. No LabC registaram-se os valores mais elevados para o grupo de exposição dos médicos anato-matologistas e dos técnicos de anatomia patológica (0,47 ppm e 0,51 ppm, respectivamente). No caso do grupo de exposição dos auxiliares, o valor mais elevado verificou-se no LabA (0,27 ppm) (*cf.* Figura 2.23).





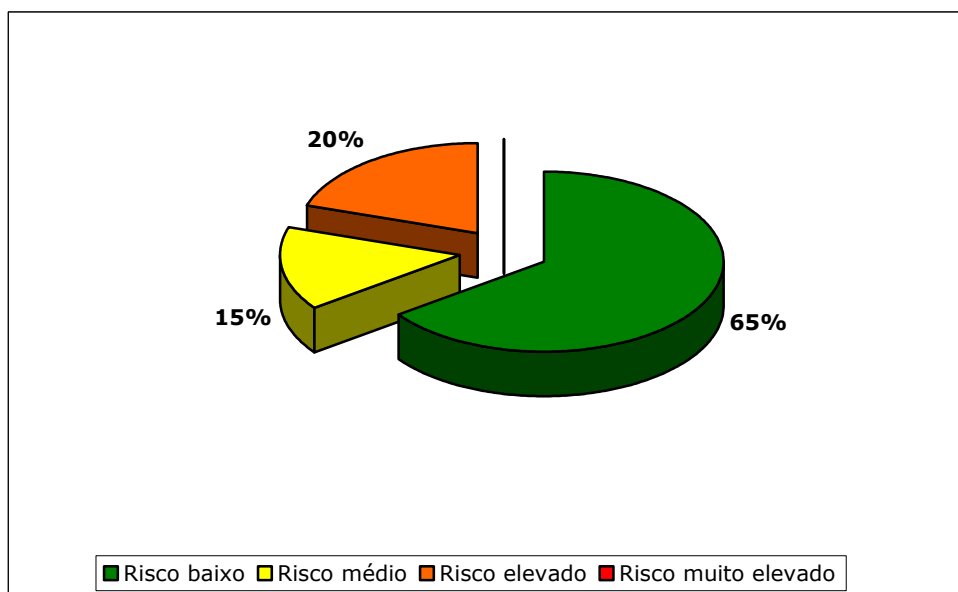
**Figura 2.23: Valores de CMP por grupo de exposição em cada laboratório.**

## 2.4 Avaliação do Risco

### 2.4.1 Aplicação da metodologia de avaliação do risco por laboratório

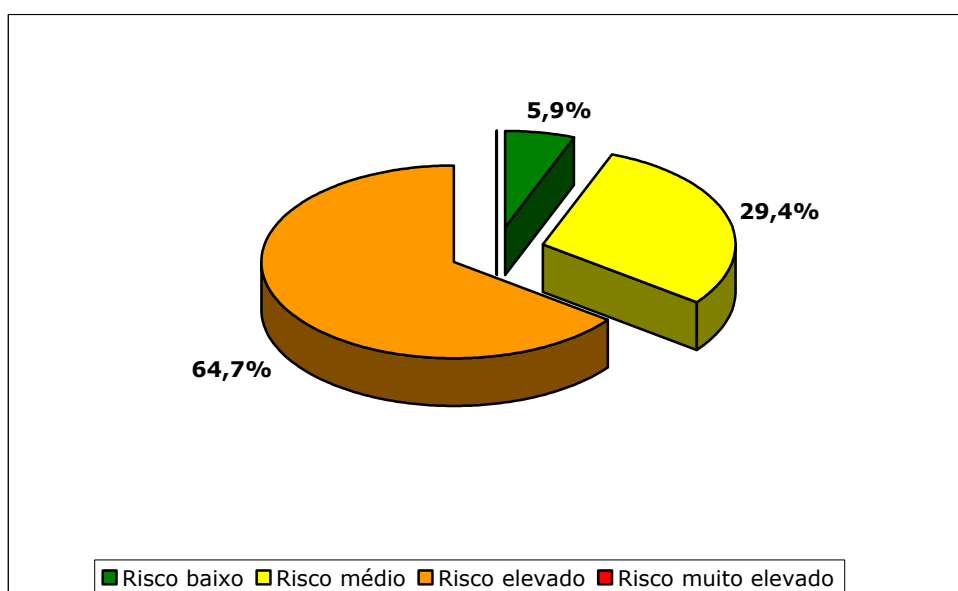
Com a informação obtida através da análise ergonómica do trabalho e da avaliação ambiental, mais especificamente, os resultados advindos da aplicação do método M1, foi possível aplicar a metodologia de avaliação do risco de cancro (nasofaríngeo) às actividades estudadas em cada laboratório (*cf.* Resultados da avaliação do risco no Apêndice IV).

O LabA apresentou 20% das actividades classificadas com risco elevado, 15% com risco médio e as restantes actividades (65%) com risco baixo (*cf.* Figura 2.24).



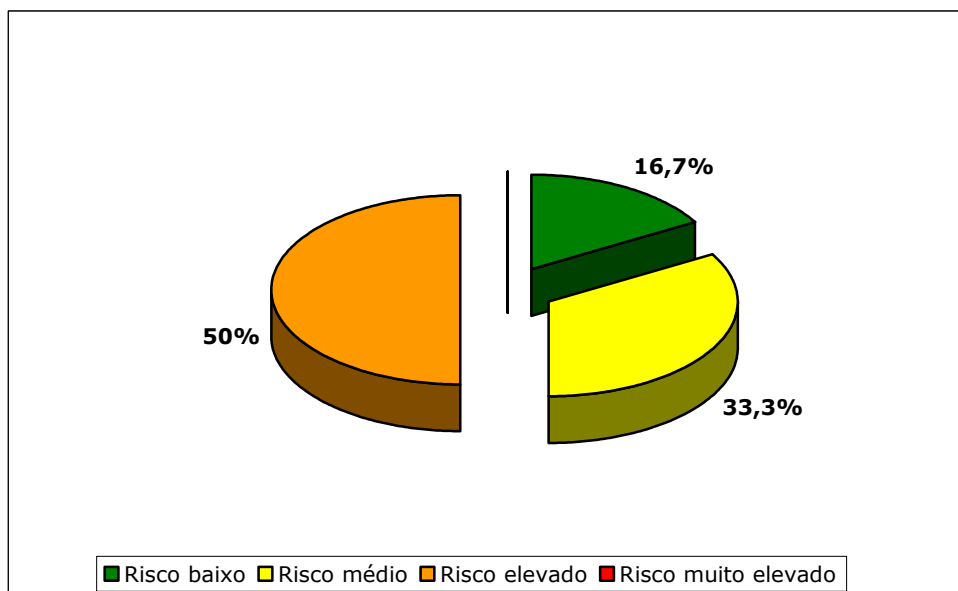
**Figura 2.24: Resultados da avaliação do risco no LabA.**

O LabB apresentou a maior parte das actividades estudadas (64,7%) com risco elevado, 29,4% com risco médio e as restantes (5,9%) foram classificadas com risco baixo (cf. Figura 2.25).



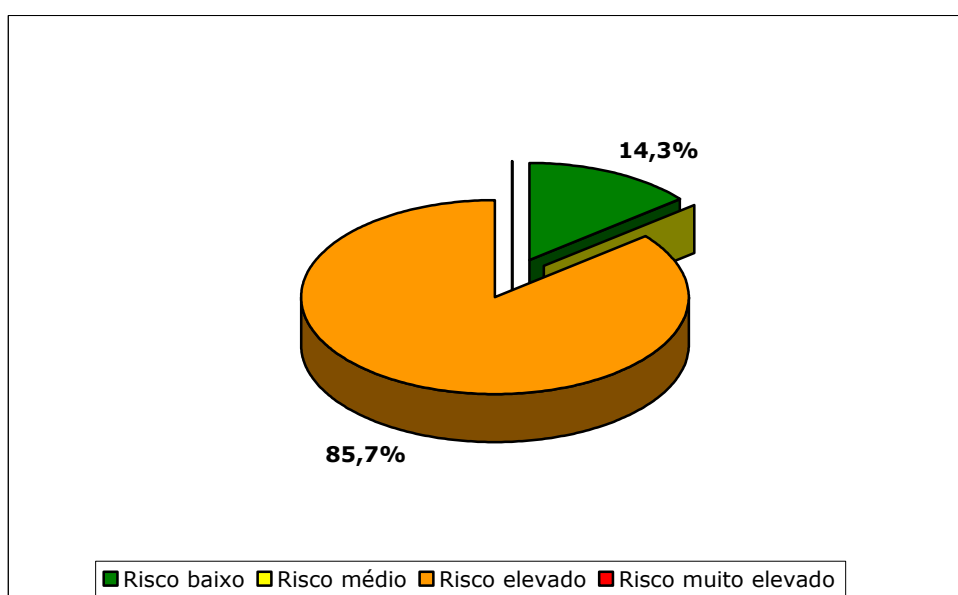
**Figura 2.25: Resultados da avaliação do risco no LabB.**

O LabC apresentou 50% (3) das actividades estudadas classificadas com risco elevado, 33,3% (2) classificadas com risco médio e apenas 16,7% (1) classificadas com risco baixo (cf. Figura 2.26).



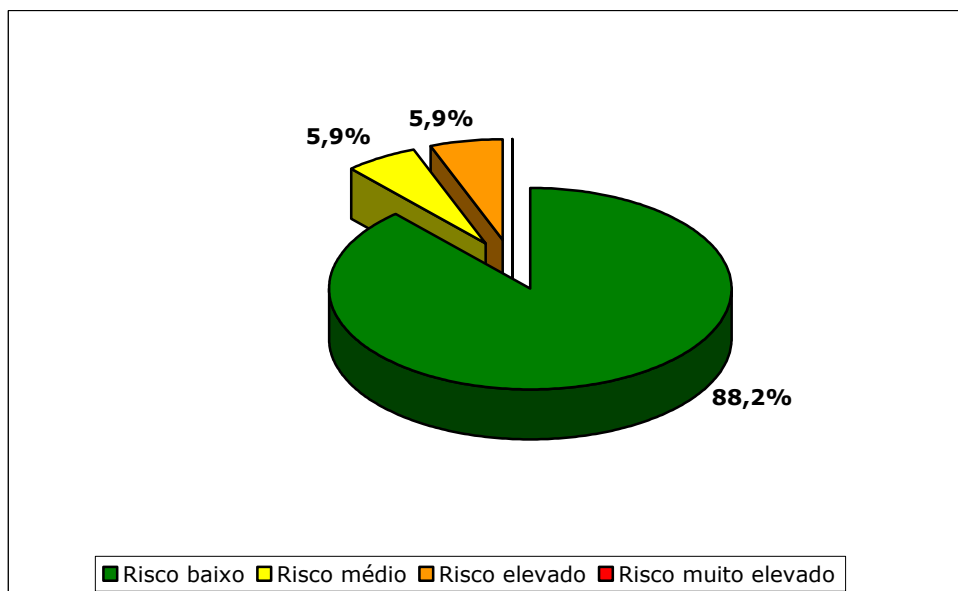
**Figura 2.26: Resultados da avaliação do risco no LabC.**

No que concerne ao LabD, 85,7% (6) das actividades apresentaram risco elevado e 14,3% (1) foram classificadas com risco baixo (cf. Figura 2.27).



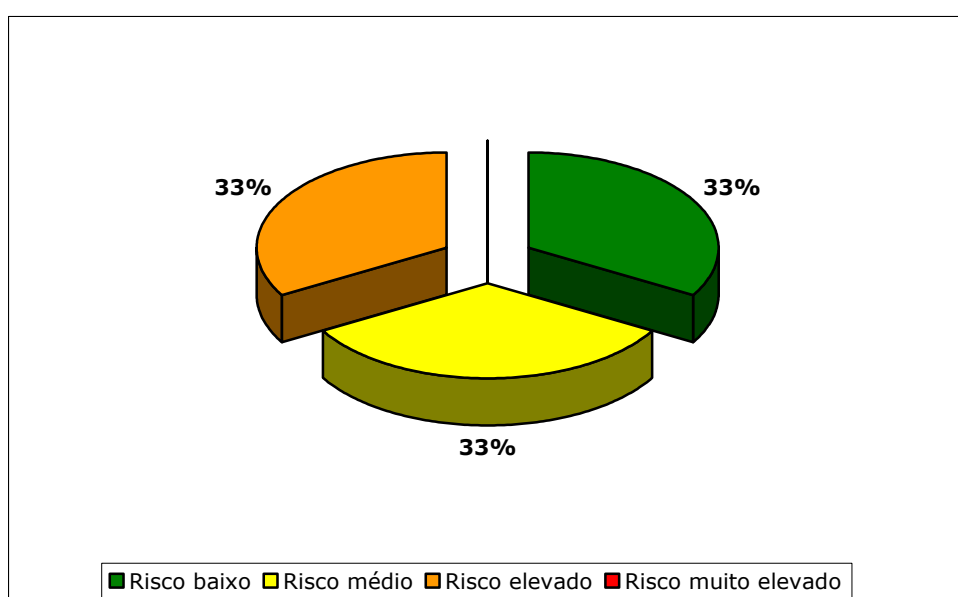
**Figura 2.27: Resultados da avaliação do risco no LabD.**

No caso do LabG, 5,9% (1) das actividades foram classificadas como tendo risco elevado, 5,9% (1) com risco médio e 88,2% (15) com risco baixo (cf. Figura 2.28).



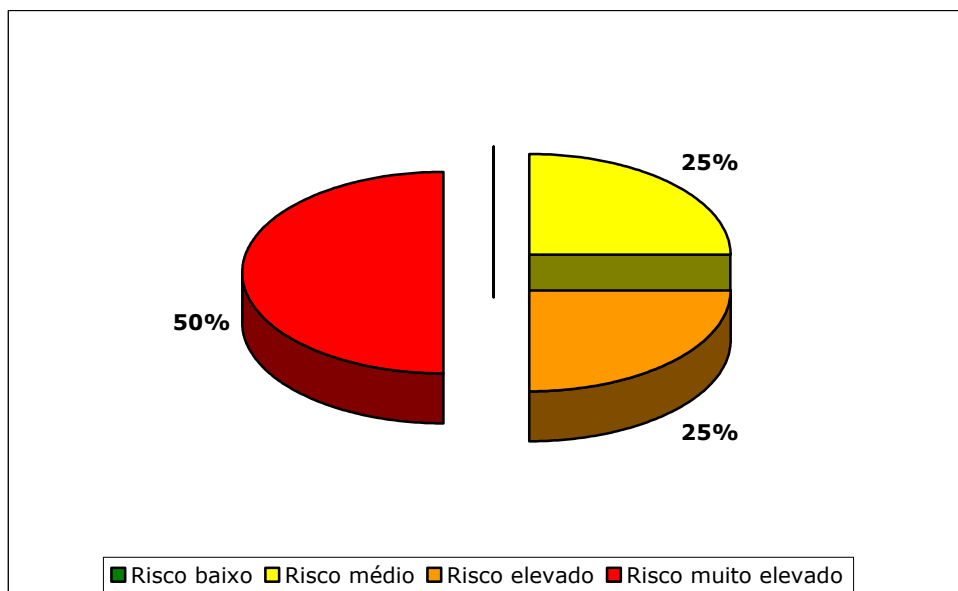
**Figura 2.28: Resultados da avaliação do risco no LabG.**

As três actividades estudadas no LabH obtiveram uma classificação distinta. Uma actividade classificada com risco elevado, outra com risco médio e uma com risco baixo (cf. Figura 2.29).



**Figura 2.29: Resultados da avaliação do risco no LabH.**

O LabJ obteve 50% das actividades (2) classificadas com risco muito elevado, 25% com risco elevado (1) e 25% com risco médio (1) (cf. Figura 2.30).

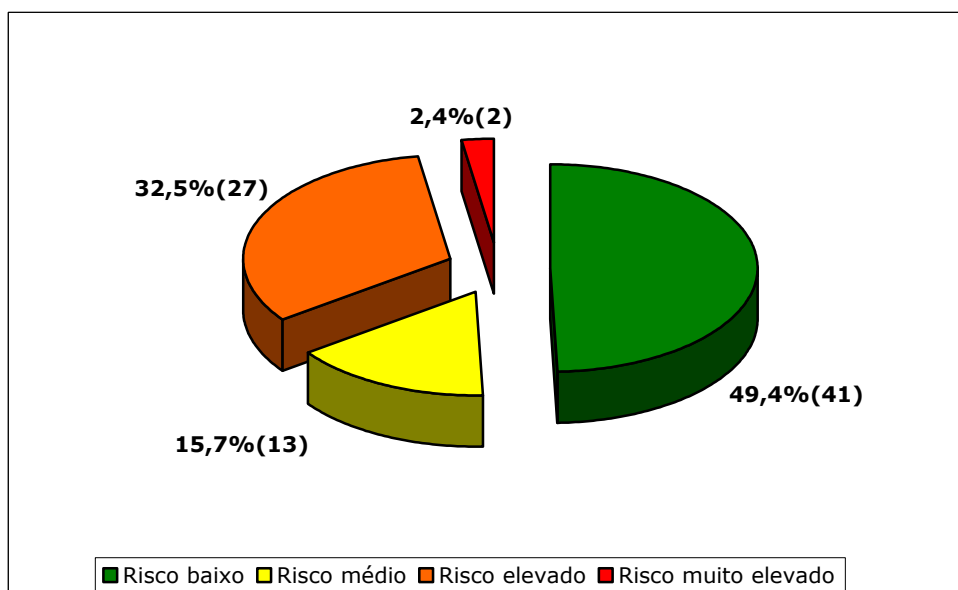


**Figura 2.30: Resultados da avaliação do risco no LabJ.**

Nos LabE, LabF e Lab I, a totalidade das actividades estudadas obtiveram a avaliação de risco baixo.

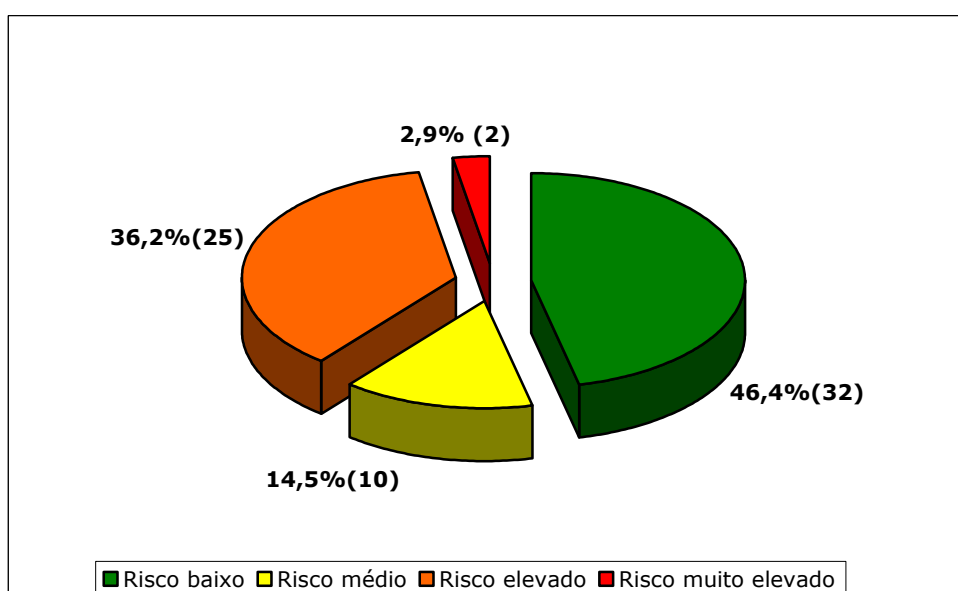
#### 2.4.2 Resultados globais

Tomadas na sua globalidade, verificou-se, pela metodologia de avaliação do risco aplicada, 2,4% (2) das actividades estudadas revelaram um risco muito elevado, 32,5% (27) um risco elevado, 15,7% (13) foram classificadas como de risco médio e 49,4% (41) de risco baixo (cf. Figura 2.31).



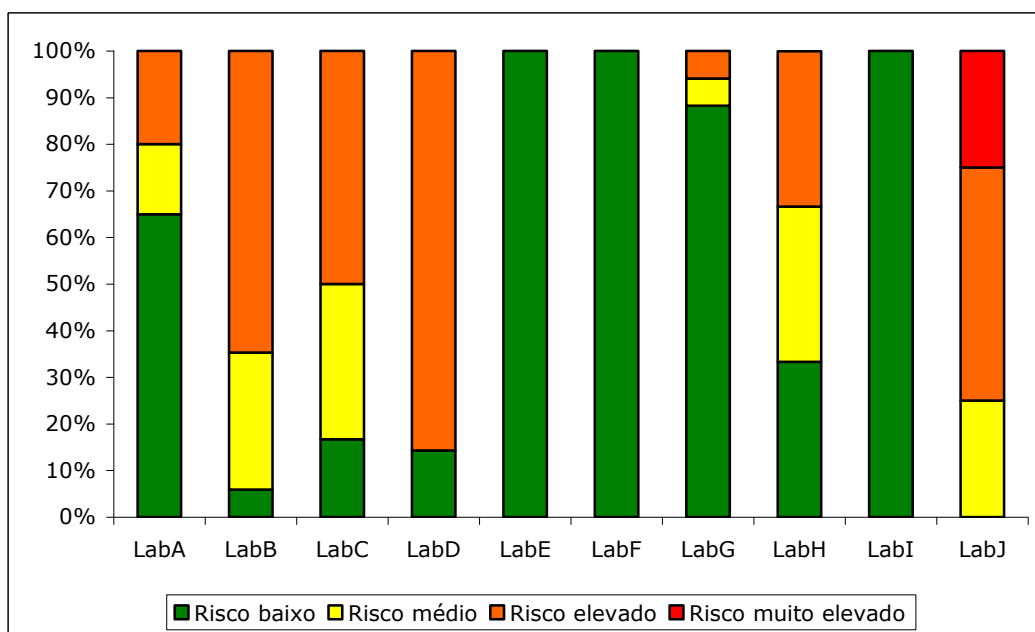
**Figura 2.31: Resultados da avaliação do risco nas actividades estudadas.**

Na actividade em maior número de vezes avaliada (69 vezes), o exame macroscópico, constatou-se que o risco era muito elevado em 2,9% dos casos, elevado em 36,2%, médio em 14,5% e baixo nos restantes 46,4% (cf. Figura 2.32).



**Figura 2.32: Resultados da avaliação do risco na actividade mais estudada (exame macroscópico).**

A distribuição dos níveis de risco pelas actividades estudadas foi distinta nos laboratórios considerados, permitindo identificar 70% (7) dos laboratórios com pelo menos 1 actividade com a classificação de risco elevado e 30% (3) com a totalidade das actividades classificadas com risco baixo (LabE, LabF e LabI). Com particular destaque o LabD por ter tido 6 das 7 actividades estudadas (85,7%) com a classificação de risco elevado (cf. Figura 2.33).



**Figura 2.33: Distribuição dos níveis de risco por laboratório.**

### 3. Discussão

A actual perspectiva da Avaliação e Gestão do Risco em Saúde Ocupacional estabelece um procedimento de actuação integrada que prevê a intervenção de diversas áreas disciplinares, designadamente a Medicina do Trabalho, a Higiene do Trabalho e a Segurança do Trabalho (*Herber, Dufus e Christensen, 2001; Uva, 2006*).

Tendo em conta a natureza das metodologias utilizadas e dos enfoques colocados, o presente estudo poderá considerar-se como perspectivado nas intervenções mais próprias da Higiene do Trabalho, centrando-se nas acções necessárias à caracterização da exposição a um agente químico num contexto ocupacional.

O desenvolvimento sistematizado das intervenções da presente investigação foi, assim, programado e implementado de modo a alcançar os propósitos

definidos. Globalmente objectivou-se: o conhecimento do factor de risco de natureza química, suas características e sua relação com a saúde dos trabalhadores a ele expostos; identificação das condições em que ocorre a exposição; a caracterização e quantificação da exposição ao factor de risco considerado (no caso, recorrendo à análise das actividades desenvolvidas, à aplicação de dois métodos quantitativos distintos de avaliação ambiental e, ainda, utilizando três indicadores de contaminação ambiental); a avaliação do risco para a saúde presente e derivado dessa exposição, designadamente no que respeita ao efeito cancerígeno já cientificamente reconhecido (cancro da nasofaringe).



Os dados obtidos através da aplicação dos dois métodos de avaliação ambiental, aplicados simultaneamente (M1 e M2), disponibilizaram informações muito distintas no que concerne à avaliação da exposição profissional (*cf.* Quadro 3.1).



**Quadro 3.1: Resultados dos dois métodos de avaliação ambiental**

Laboratórios	Grupo de exposição	CM* (M1) <sup>+</sup> (ppm)	CMP (M2) (ppm)
A	Auxiliar	2,51	0,27
	Médico	3,19	<LD
	Técnico	0,94	0,16
B	Auxiliar	0,62	0,15
	Médico	2,71	0,24
	Técnico	3,36	0,16
C	Auxiliar	0,53	0,12
	Médico	2,93	0,47
	Técnico	2,28	0,51
D	Auxiliar	NM	<LD
	Médico	2,31	0,07
	Técnico	0,85	0,11
E	Auxiliar	NM	<LD
	Médico	1,10	0,06
	Técnico	0,85	0,07
F	Auxiliar	NM	0,09
	Médico	0,34	0,23
	Técnico	0,28	0,12
G	Auxiliar	0,71	0,16
	Médico	2,81	0,05
	Técnico	1,26	0,04
H	Auxiliar	0,68	0,25
	Médico	2,08	0,11
	Técnico	0,68	0,25
I	Auxiliar	0,95	0,05
	Médico	0,47	<LD
	Técnico	NM	0,06
J	Auxiliar	NM	NM
	Médico	5,02	0,13
	Técnico	4,32	0,08

<sup>+</sup> Valores mais elevados obtidos por grupo de exposição  
 <LD – Inferior ao limite de detecção do método  
 NM – Não medido

Relembre-se que o método M1 permitiu obter dados comparáveis com o valor-limite de exposição da Concentração Máxima (VLE-CM), enquanto que no método M2 se obtiveram dados a comparar com o valor-limite de exposição da Média Ponderada (VLE-MP).

Segundo a International Agency for Research on Cancer (2006), os efeitos para a saúde decorrentes da exposição a formaldeído parecem estar mais associados com as concentrações máximas (CM) do que com o tempo de exposição (Pyatt, Natelson e Golden, 2008).

Considerando apenas os resultados obtidos através do M1 (método que permitiu o estudo das CM), podemos concluir que na totalidade dos Laboratórios estudados se registaram resultados superiores ao valor-limite existente para a CM (0,3 ppm) indicada por diversos documentos normativos e institucionais (a título de exemplo: a Norma Portuguesa 1796, de 2007, e a *American Conference of Industrial Hygienists*, decorrente da sua revisão de 2008). É, aliás, uma situação generalizada, uma vez que tais valores excessivos se verificaram na maioria das 83 actividades estudadas (92,8%).

A estas observações pode ainda acrescentar-se o facto de o LabJ ter obtido valores de CM dezassete vezes superiores ao valor-limite (0,3 ppm) e os Labs A e B onze vezes superiores.

Embora todos os laboratórios apresentem pelo menos uma actividade com resultados de CM superiores ao valor-limite, existe uma grande diferença na amplitude do intervalo em que esses resultados estão enquadrados. Destaca-se o maior intervalo obtido no LabJ e enquadrado em valores mais elevados do que os restantes laboratórios. No sentido contrário estão os LabE e LabF com um intervalo reduzido e, este último laboratório, com os valores mais baixos (cf. Figura 3.1).

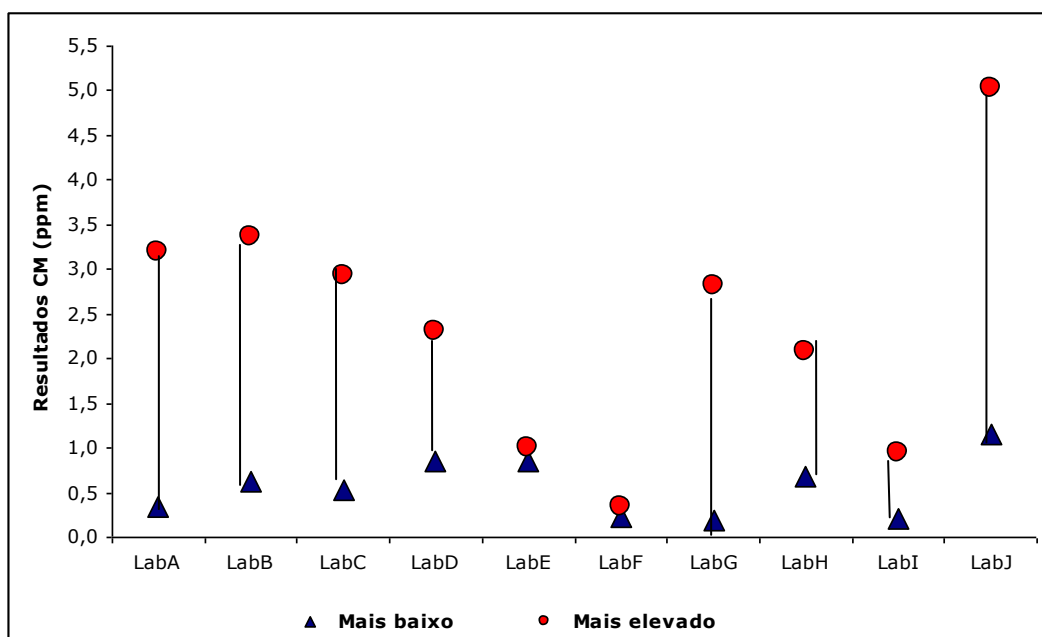


Figura 3.1: Distribuição dos valores de CM obtidos.

São resultados que concordam com diversos outros estudos desenvolvidos em laboratórios de anatomia patológica, identificando exposições a concentrações elevadas de formaldeído durante curtos períodos de tempo (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994; Burgaz, Erdem e Cakmak, 2002; Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam, 2005; International Agency for Research on Cancer, 2006; Vincent e Jeandel, 2006; Goyer, 2007; Pilidis, Karakitsios e Kassomenos, 2009; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*).

Por seu lado, verifica-se que nenhum dos resultados obtidos pelo método M2 (NIOSH 2541) ultrapassa o valor-limite de exposição referenciado para a CMP (TLV-TWA = 0,75 ppm).

Outros estudos obtiveram resultados similares, designadamente o estudo realizado em 2002 (*Shaham, Gurvich e Kaufman, 2002*) com uma amostra de 14 laboratórios e que registaram valores de 0,4 ppm para a CMP e, ainda, o estudo desenvolvido em 2006 (*Orsière, Sari-minodier e Iarmarcovai, 2006*) que observou valores de 0,1 ppm também para este referencial de exposição.



O exame macroscópico foi a actividade mais estudada (n=69), uma vez que é a que se desenvolve com maior frequência na sala de entradas dos laboratórios de anatomia patológica, local onde se realizou a maioria das medições ambientais (cf. Metodologia, p. 82).

Com excepção de um caso, nesta actividade foi onde se revelaram os valores de CM mais elevados, o que se verificou apesar da existência e utilização de mesas de macroscopia com dispositivos de ventilação localizada em todos os laboratórios que constituíram a amostra (cf. Figura 2.5, p. 98). Destes resultados, acresce, a maioria (cerca de 93%) apresentou valores de CM superiores a 0,3 ppm (VLE-CM).

Note-se ainda que foi no decurso desta actividade que os grupos de exposição dos Médicos Anatomo-Patologistas e dos Técnicos de Anatomia Patológica registaram os valores mais elevados da exposição medida através deste referencial.

Estas constatações estão de acordo com outros estudos que referem o exame macroscópico como a actividade que envolve exposição às CM mais elevadas. Para esta situação é determinante a exigência de proximidade ao plano de trabalho originada pela necessidade de observação detalhada das peças anatómicas impregnadas com formol (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*;

*Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam, 2005; Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006; Ohmichi, Komiyama e Matsuno, 2006).*

O manuseamento necessário das peças anatómicas para proceder ao exame macroscópico será também outra das causas a considerar.

Durante a realização do exame macroscópico foi possível identificar momentos críticos em matéria de exposição, designadamente a abertura do recipiente que contém a peça a analisar embebida em formol, o corte das peças anatómicas e, ainda, a abertura de cavidades (como o útero e a bexiga). Como exemplo desta última constatação, pode mencionar-se o observado durante a realização de um exame macroscópico a um útero no LabD que, no momento da sua abertura, apresentou a concentração mais elevada (2,29 ppm). É uma observação igualmente referenciada num estudo sobre a exposição a formaldeído durante a realização de aulas práticas num laboratório de anatomia, onde a abertura das cavidades promoveu um aumento dos níveis de formaldeído no ar ambiente, tendo sido observadas concentrações até 11,52 ppm (*Ryan, Burroughs e Taylor, 2003*).

O presente estudo permitiu ainda obter resultados adicionais acerca do exame macroscópico, designadamente:

- A pele representou o tecido analisado em maior número de situações (10 casos);
- Considerando os tipos de tecidos em que se registaram mais de três exames, os que incidiram sobre a vesícula foram os que registaram o valor médio das CM mais elevado (2,02 ppm), talvez relacionado com o facto de se tratar da exposição de uma cavidade;
- O exame macroscópico do tecido dérmico registou o segundo valor médio de CM mais elevado (1,29 ppm), facto possivelmente relacionado com a diminuta dimensão das peças a examinar, obrigando a uma maior aproximação do trabalhador à fonte emissora (tecido), para permitir a observação dos detalhes potenciando, desta forma, a exposição aos vapores de formaldeído;
- O valor de CM mais elevado foi registado no exame a um intestino (peça inteira), talvez devido à sua dimensão. Note-se que, segundo Goyer, Bégin e Bouchard (2004f), a tipologia e a dimensão das peças anatómicas podem influenciar a exposição a formaldeído neste contexto ocupacional.

Em quatro dos laboratórios que constituíram a amostra foi também possível estudar a actividade de "eliminação de reservas". Esta actividade obteve sempre valores de concentração superiores ao valor-limite para a CM (VLE-CM=0,3 ppm).

Assim, nos LabC, LabH, LabI e LabG foram observadas concentrações máximas de formaldeído de 0,53 ppm, 0,68 ppm, 0,95 ppm e 0,71 ppm, respectivamente. Nos laboratórios referidos, esta actividade foi desenvolvida em condições de ventilação precárias ou inexistentes (não se realizaram na sala de entradas).

Outro aspecto que terá contribuído para os valores de concentração observados terá sido o facto de a eliminação das reservas ter implicado a abertura dos recipientes com o objectivo de permitir a sua reutilização e um menor custo na gestão dos resíduos pela separação da componente líquida (formol) da sólida (peça anatómica). Embora se trate de uma actividade realizada, na maioria das situações, com uma periodicidade mensal (está dependente do número médio de peças processado por dia no laboratório) é, como se verificou neste estudo, uma actividade que envolve a exposição a concentrações elevadas de formaldeído. São igualmente situações referidas em estudo desenvolvido no Canadá, onde foram relatados valores de CM de 1 ppm durante a realização desta actividade (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*).

Em resumo, constata-se que o valor-limite para a CM é excedido em todas as actividades estudadas, sendo a actividade "exame macroscópico" realizada nas salas de entradas dos laboratórios a que determina mais elevadas exposições (93% dos resultados superiores a 0,3 ppm).



Tentou-se responder a algumas questões, designadamente: O nível de exposição de cada grupo profissional envolvido nestas tarefas é homogéneo? É possível admitir níveis de exposição considerando cada grupo profissional?

A constituição de grupos de exposição é uma iniciativa comum no estudo da exposição a um agente químico num qualquer contexto de trabalho, tendo por fundamento a tentativa de caracterizar a exposição relativamente ao maior número possível de indivíduos, com a máxima rentabilização de meios técnicos e recursos financeiros. O seu pressuposto é o de que os indivíduos de um mesmo grupo de exposição terão o mesmo tipo de tarefas em semelhantes condições de trabalho ao que corresponderão, assim, níveis de exposição similares.

Alguns autores (*Susi e Schneider, 1995; Kromhout, 2002; Ramachandran, 2008*), reclamam a atenção para o facto de, mesmo sendo observados estes critérios de uniformidade na definição de grupos de exposição, existir sempre alguma fragilidade associada, pelo facto de cada trabalhador que integra um determinado grupo apresentar modos operatórios distintos na realização das

actividades, o que pode significar diferenças mais ou menos significativas da exposição.

Tendo em conta as observações da actividade realizadas nas primeiras fases desta investigação, concluiu-se ser possível, tendo por base os critérios acima mencionados, estabelecer três grupos de exposição, no caso coincidindo com os grupos profissionais existentes nos laboratórios em causa: Médicos Anatomo-Patologistas, Técnicos de Anatomia Patológica e Auxiliares. Tal coincide com a repartição estabelecida em outros estudos igualmente visando a caracterização da exposição a formaldeído em laboratórios de anatomia patológica (*Shaham, Gurvich e Kaufman, 2002; Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f; Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006*). De notar, contudo, que não está descrito como foram efectuados estes agrupamentos nos estudos referidos.

Em 8 dos 10 laboratórios verificou-se que o grupo com o nível de exposição mais elevado (referenciado pelos valores de CM) foi o dos Médicos Anatomo-Patologistas. Para esta situação terá sido determinante o facto de o exame macroscópico, que é realizado por estes médicos, ter sido a actividade que revelou níveis de exposição mais elevados.

Apenas no LabB tal não se verificou. Aqui, os Auxiliares apresentaram a exposição ao valor de CM mais elevado, o que ocorreu durante a realização da actividade “eliminação de reservas”. Esta actividade é normalmente desenvolvida apenas pelos Auxiliares embora, em algumas situações, os Técnicos de Anatomia Patológica afectos à sala de entradas colaborem na selecção das reservas a eliminar, situação que se observou nos LabG e LabH. Ainda a respeito do grupo de exposição dos Auxiliares, importa mencionar que este grupo foi o que obteve os valores máximo e médio de CM mais baixos (2,51 ppm e 0,86, respectivamente) e com uma diferença estatisticamente significativa dos restantes grupos de exposição ( $p=0,002$ ).

Resultados similares foram obtidos num estudo desenvolvido em 14 laboratórios de anatomia patológica, em Israel, em que se constatou que os Médicos Anatomo-Patologistas constituíam o grupo de exposição a formaldeído elevada e os Técnicos de Anatomia Patológica e Auxiliares se situavam no grupo de exposição reduzida (*Shaham, Gurvich e Kaufman, 2002*). Num outro estudo, desenvolvido em laboratórios de anatomia patológica do Canadá, registaram-se resultados ligeiramente diferentes, sendo o grau de exposição equivalente para os grupos do Médico Anatomo-Patologista (6,5 ppm) e Técnico de Anatomia Patológica (6,8 ppm), enquanto que o dos Auxiliares permanecia num nível inferior (5,2 ppm) (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*). Note-se, entretanto, que a descrição das

actividades que estavam a ser desenvolvidas no momento da avaliação não é realizada no estudo em causa.

No que diz respeito aos resultados obtidos para o referencial de exposição Concentração Média Ponderada (CMP), o grupo de exposição dos Técnicos de Anatomia Patológica apresenta, em 40% dos laboratórios, os valores mais elevados, o que acontece em 30% dos casos para os Médicos Anatomo-Patologistas e para os Auxiliares.

Os resultados da CMP estão relacionados com as actividades que cada grupo de exposição desenvolve ao longo do dia. Observou-se que os Técnicos de Anatomia Patológica, além de acompanharem os exames macroscópicos (a actividade que determina a exposição mais elevada) que, na maior parte dos laboratórios, decorrem apenas no período da manhã, realizam outras actividades que envolvem o manuseamento da solução de formaldeído, designadamente a recepção e o registo do material biológico que entra no laboratório, a selecção das peças em reserva para eliminação, a substituição dos produtos (entre os quais, o formaldeído) do processador de tecidos e, em alguns casos, a lavagem das peças anatómicas para remoção do excesso do formol. Pode concluir-se que, ao longo do dia, o Técnico de Anatomia Patológica afecto à sala de entradas terá uma exposição constante, a qual será elevada pelo menos durante a realização do exame macroscópico, devido à proximidade exigida para o registo das observações emitidas pelo Médico Anatomo-Patologista. Alguns dos valores obtidos de concentração máxima durante esta actividade são demonstrativos desta situação (LabB 1,91 ppm e 3,36 ppm; LabD 2,12 ppm). É, entretanto, uma observação que poderá contribuir para explicar o facto de ter sido este o grupo de exposição em que se registou o valor médio mais elevado da CM (2,04 ppm), quando considerada a totalidade das actividades desenvolvidas pelo grupo de exposição dos Técnicos de Anatomia Patológica.

De diferente forma, o Médico Anatomo-Patologista, após a realização dos exames macroscópicos, desenvolve usualmente actividades que não envolvem a exposição a formaldeído, designadamente a observação microscópica de lâminas. A elevada exposição durante o exame macroscópico será, assim, atenuada pela reduzida (ou nula) exposição durante as restantes actividades que desenvolvem durante o dia.

Quanto ao grupo de exposição Auxiliares, estão mais envolvidos em actividades com exposição a formaldeído durante o período da manhã, como a remoção do excesso de formol das peças anatómicas, a adição de formol nos recipientes e a eliminação das reservas. É mesmo de referir que alguns destes profissionais apenas estão afectos ao laboratório de anatomia patológica no período

da manhã, sendo posteriormente distribuídos para outros serviços hospitalares onde não ocorre exposição a formaldeído. Esta particularidade justificará o facto de este grupo de exposição ter obtido o valor máximo de CMP inferior aos restantes grupos de exposição (0,27 ppm).

Os valores mais elevados de CMP foram obtidos no LabC para dois dos grupos de exposição — os Médicos Anatomo-Patologistas (0,47 ppm) e os Técnicos de Anatomia Patológica (0,51 ppm). É possível que esta situação se deva ao facto de este laboratório apresentar duas mesas de macroscopia na sala de entradas e, em alguns momentos do dia em que se procedeu às avaliações, estarem dois exames macroscópicos a decorrer em simultâneo. Assim, como estes dois grupos de exposição (médico e técnico) são os que permanecem mais tempo na sala de entradas, os valores da CMP terão sido influenciados por esse aspecto. A associação entre o número de exames macroscópicos a decorrerem em simultâneo e a contaminação ambiental por formaldeído foi, aliás, relatada em estudo desenvolvido no Canadá, tendo obtido uma relação entre o número de postos de trabalho existentes na sala de entradas e as concentrações de formaldeído (*Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f*).

O presente estudo identificou, portanto, os Médicos Anatomo-Patologistas como o grupo em que a exposição formaldeído é mais acentuada (valores de CM mais elevados em 8 dos laboratórios), situação relacionada com a actividade “exame macroscópico”. Verificou-se ainda que os Auxiliares são o grupo em que a exposição é menos intensa, o que se poderá dever, pelo menos em parte, a um tempo de exposição a formaldeído menor do que o registado nos outros grupos.



Quando a caracterização da exposição profissional a um agente químico visa obter conhecimento que fundamente o desenvolvimento de acções preventivas, importa esclarecer o modo como a exposição se desenvolve e as variáveis que a influenciam. O mesmo é dizer que importa conhecer a actividade concreta dos operadores (aquilo que na realidade fazem), quando e enquanto confrontados com as tarefas que têm que desempenhar para permitir caracterizar a exposição a um factor de risco e, mais tarde, identificar as medidas de prevenção e/ou protecção mais adequadas (*Faria, 1987; Kapitaniak, 1994; Serranheira, Uva e Espírito-Santo, 2009*). A Análise do Trabalho, segundo a metodologia preconizada pela Ergonomia, assume-se, deste modo, como um instrumento de inquestionável importância.

A Norma Portuguesa EN 689:2008 (“Guia para a apreciação da exposição por inalação a agentes químicos por comparação com valores limite e estratégia de



medição”) menciona, no seu articulado, aquilo a que chama “apreciação da exposição” (ponto 5.1.4), prevendo a necessidade de “... identificação das exposições potenciais, os factores do local de trabalho e as respectivas interligações...”. Pretende a Norma, julga-se, atender à necessidade de considerar as características da situação de trabalho para a definição da estratégia de medição. Inclusivamente, na “análise inicial” (ponto 5.1.4.1) são mencionadas algumas das variáveis que afectam as concentrações dos agentes químicos no ar como, por exemplo, a proximidade do trabalhador relativamente às fontes emissoras, a duração do tempo dispendido na área e as práticas de trabalho próprias do trabalhador (*Instituto Português da Qualidade, 2008a*). É, contudo, uma abordagem que se pode considerar como insuficiente, na medida em que são vastos os aspectos da situação de trabalho que influenciam directa e inequivocamente a exposição e, como tal, deverão ser contemplados na caracterização de cada exposição. A estratégia de avaliação da exposição e a correspondente posterior definição de medidas correctivas implica, assim, que sejam equacionados todos os factores que a condicionam, o que pressupõe uma análise objectiva das condicionantes humanas, ambientais, técnicas e organizacionais da actividade (*Prista, 1987*).

Na presente investigação foi tida em conta cada situação real de trabalho. A partir da observação da actividade, com o objectivo de a decompor em acontecimentos distintos e sucessivos, procurou-se identificar todos os detalhes envolvidos, designadamente no que respeita às variáveis humanas, ambientais, técnicas e organizacionais que contribuíssem para a exposição a formaldeído.

Foi, assim, possível constatar a influência que algumas práticas de trabalho representam para a exposição, nomeadamente a presença de recipientes com formol abertos durante o exame macroscópico ou a existência de gazes embebidas em formol depositadas no plano de trabalho, bem como a maior proximidade ao plano de trabalho que o trabalhador assume durante a realização dos exames macroscópicos, por virtude da necessidade de observação em detalhe das peças anatómicas impregnadas com formol, estando esta situação também condicionada pela acuidade visual do trabalhador.

A influência da permanência dos recipientes de formol abertos durante o decorrer do exame macroscópico pode exemplificar-se pela constatação, durante a realização de um exame macroscópico no LabD, de alterações nas concentrações de formaldeído (de 2,24 ppm para 2 ppm) quando o médico optou por fechar o recipiente repleto de formol e onde tinha permanecido a peça. No LabB, por seu lado, uma situação semelhante redundou numa variação de 2,67 ppm para 1,63 ppm nas concentrações ambientais de formaldeído.

Quanto à questão da distância ao plano de trabalho, a título de exemplo, menciona-se a observação, durante a realização de um exame macroscópico no LabC, de um médico anatomo-patologista que iniciou o exame de pé mas, após algum tempo, optou por se sentar. As concentrações medidas junto da boca e nariz alteraram, nesse preciso momento, de valores inferiores a 2 ppm (entre 1 ppm e 2 ppm) para valores superiores a 2 ppm, tendo alcançado o valor máximo de 2,53 ppm. Observações semelhantes foram obtidas em estudos diversos, demonstrando que a distância das vias respiratórias ao plano de trabalho, onde se encontram as fontes emissoras de formaldeído, condiciona de forma significativa a exposição e que a proximidade às peças anatómicas a processar pode aumentar a exposição em 2 a 3 vezes (*Kromhout, 2002; Ryan, Burroughs e Taylor, 2003; Ohmichi, Komiyama e Matsuno, 2006; Pilidis, Karakitsios e Kassomenos, 2008*).

Os resultados para a CM, obtidos nos exames macroscópicos estudados com maior frequência, reforçam esta constatação, em particular os que se referem aos tecidos dérmicos (estudado 10 vezes) onde se registou o valor de CM mais elevado (3,56 ppm). É, contudo, uma constatação diversa da apresentada no estudo de Goyer, Bégin e Bouchard (*2004f*), onde é referida a dimensão da peça como uma variável importante e directamente proporcional à intensidade da exposição.

Os resultados obtidos parecem indicar, entretanto, que além da dimensão das peças em análise as práticas de trabalho adoptadas (modos operatórios) devem ser consideradas como um factor influenciador da exposição. No caso referido, por exemplo, identificou-se que, devido à diminuta dimensão que estas peças apresentam, há uma necessidade (exigência) de que o trabalhador que procede ao exame macroscópico se debruce sobre a peça e, desta forma, potencie a sua exposição.

Kromhout (*2002*) refere, mesmo, que até a própria massa corporal do trabalhador deve ser considerada, uma vez que pode condicionar a adopção de posturas que influenciem sobre a proximidade à fonte emissora e, consequentemente, a própria exposição.

A influência das práticas de trabalho sobre a exposição pode igualmente exemplificar-se pela questão da lavagem prévia das peças anatómicas com água corrente para a remoção do excesso de formol. É um procedimento comumente adoptado e que visa minimizar a exposição a formaldeído durante o decorrer do exame macroscópico. A análise do trabalho efectuada, contudo, permitiu identificar que esta actividade é realizada pelos Técnicos de Anatomia Patológica ou pelos Auxiliares, por recurso a uma torneira normal e fora da acção de qualquer dispositivo de ventilação localizada, conduzindo a situações de elevada exposição (por exemplo, 0,60 ppm no LabB; 2,22 ppm no LabC; 2,26 ppm no LabD), de modo

semelhante ao que foi identificado num estudo de Goyer (2007) que referencia no decorrer desta actividade exposições superiores a 2,0 ppm. Ou seja, uma prática de trabalho instituída para atenuar a exposição de um grupo acaba por representar um excesso de exposição por parte de outros grupos. Na realidade, trata-se não de uma diminuição da exposição, como seria desejável, mas de uma transferência da exposição entre grupos profissionais.

Por serem reconhecidas como determinantes na exposição a formaldeído em laboratórios hospitalares de anatomia patológica, outras duas variáveis foram alvo de atenção: o tipo de solução de formaldeído utilizado e as condições de ventilação existentes.

Goyer, Bégin e Bouchard (2004f) identificaram valores de concentração de até 2,55 ppm (CM) na actividade de diluição de soluções concentradas de formaldeído. A aquisição de soluções de formaldeído já diluídas na proporção pretendida (10%) evita a manipulação do agente em concentrações elevadas e, consequentemente, de situações de elevada exposição. É uma boa prática e que é já um procedimento constatado em todos os dez laboratórios em que o presente estudo se realizou.

No que concerne às condições de ventilação presentes nos laboratórios envolvidos no presente estudo, a observação detalhada permitiu concluir que a totalidade dos laboratórios estava dotada de dispositivos de ventilação localizada associados à mesa de macroscopia (local onde se realizam os exames macroscópicos). Tais equipamentos contribuirão de modo importante para que a exposição a formaldeído não se revele ainda mais intensa, como salientado por diversos autores (Yamato, Nakashima e Kikuta, 2005; Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006; *National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme*, 2006). Um estudo desenvolvido no Canadá, por exemplo, revelou que os valores em laboratórios dotados destes equipamentos se situavam na ordem dos 0,3 ppm, enquanto os locais apenas beneficiando de dispositivos de ventilação geral chegavam a registar concentrações de 1,65 ppm (Goyer, Bégin e Bouchard, 2004f). Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam (2005), num estudo efectuado em oito laboratórios de anatomia patológica no Irão, verificaram que 87,5% dos valores superiores a 1,12 ppm – exposição de curta duração – estavam directamente relacionados com a inexistência de dispositivos de ventilação localizada.

Necessariamente não é suficiente a existência de ventilação localizada (ou mesmo outra) para que uma adequada exaustão seja alcançada ou, pelo menos, admitida. A questão da manutenção destes dispositivos é determinante para o seu adequado funcionamento e, portanto, a sua eficácia esperada. A este respeito, por exemplo o *Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail*

(IRSST), do Canadá, preconiza que seja assegurado um caudal de exaustão mínimo de 5 m/s na zona de captação do dispositivo de ventilação localizada (*Van Veen, Fortezza e Bloemen, 1999; Goyer, 2007*). Embora o presente estudo não tenha contemplado a verificação dos caudais dos sistemas de ventilação, verificou-se que as datas inscritas referentes à última acção de manutenção efectuada eram muito antigas (quase sempre de vários anos), tornando admissível que os seus padrões de eficácia não se revelem os desejados e esperados para cada equipamento em causa.

É, assim, possível e pertinente concluir que a análise de trabalho efectuada no presente estudo proporcionou dados e informações de elevada importância não só para a compreensão da exposição analisada, mas igualmente para a definição das medidas de prevenção e controlo da exposição mais adequadas à realidade estudada. E que só com base nesta metodologia será (como foi) possível compreender de que modo cada variável em presença condiciona não só os modos operatórios adoptados como outros factores presentes e, em consequência, a exposição.



Na presente investigação foram seleccionados e estudados três indicadores de contaminação ambiental: o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório, calculado a partir dos dados obtidos no método M1; a CMP por grupo de exposição, que decorre dos dados obtidos através do método M2; e o Índice do Tempo de Regeneração, calculado a partir dos dados obtidos no método M1 (*cf. Metodologia, p. 77*). Este último indicador disponibiliza informação quantitativa que permite avaliar a capacidade de um ambiente recuperar as condições normais após um período de contaminação (*Nunes e Soares, 2007*). No presente estudo, o Índice do Tempo de Regeneração (ITR) foi considerado como o tempo médio necessário para que o ambiente de trabalho retomassem valores de concentração de formaldeído inferiores a 0,3 ppm após ultrapassar este valor-limite (VLE-CM).

Num estudo desenvolvido por Preller, Burstyn e De Pater (*2004*), com o objectivo de caracterizar os picos de exposição a solventes orgânicos, considerou-se igualmente oportuno o estudo da duração das concentrações de pico. Neste caso, e de forma similar ao proposto por Nunes e Soares (*2007*), este indicador consistiu na duração dos picos de concentração observados durante o período de medição.

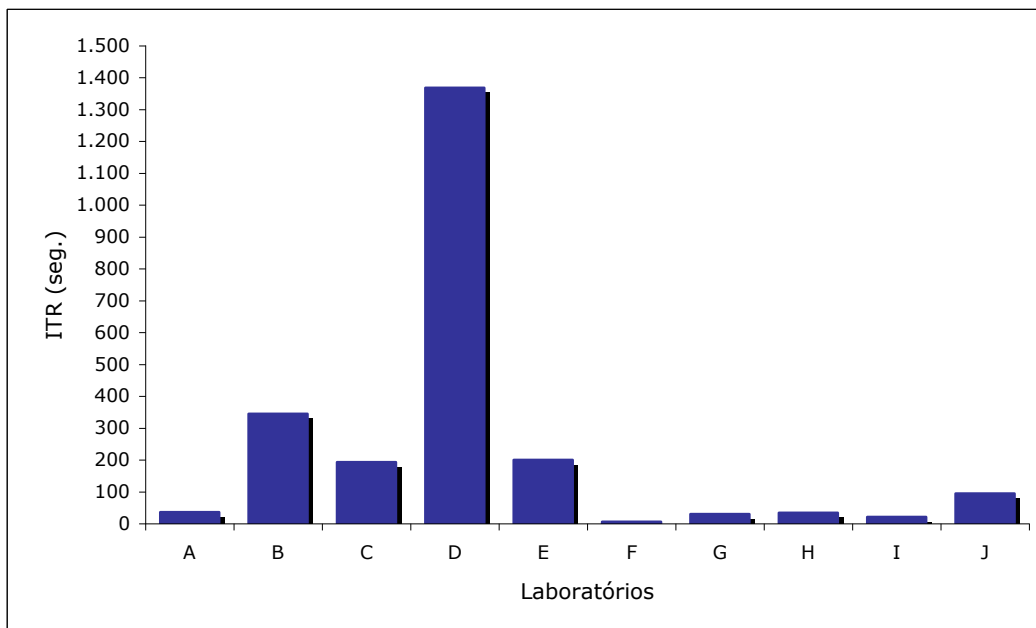
Outros autores têm proposto igualmente a magnitude e a frequência dos picos como aspectos a estudar para caracterizar a exposição (*Wegman e Eisen, 1992; Nieuwenhuijsen, Lowson e Venables, 1995; Ott, Klees e Poche, 2000*).

Na presente investigação apenas a frequência dos picos de exposição não foi estudada. O estudo do ITR contemplou quer a duração quer a magnitude (apenas valores de concentração superiores a 0,3 ppm foram considerados) dos picos de concentração.

Os resultados de ITR obtidos para os diversos laboratórios evidenciam que no LabD se verificou um período de tempo com concentrações superiores a 0,3 ppm muito maior do que nos restantes (1.368 segundos, cerca de 22,8 minutos), cabendo ao LabF o menor período de regeneração (em média, demoravam 6,14 segundos os períodos com concentrações superiores a 0,3 ppm) (*cf.* Quadro 3.2 e Figura 3.2).

**Quadro 3.2: Resultados do ITR por laboratório**

<b>Laboratórios</b>	<b>ITR (segundos)</b>
A	36,37
B	345,00
C	193,00
D	1.368,00
E	200,50
F	6,14
G	30,00
H	34,36
I	21,33
J	94,25

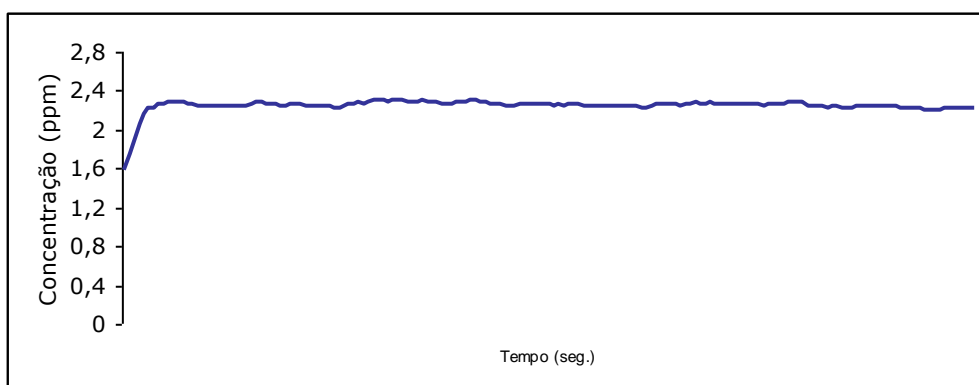


**Figura 3.2: Resultados do ITR por laboratório.**

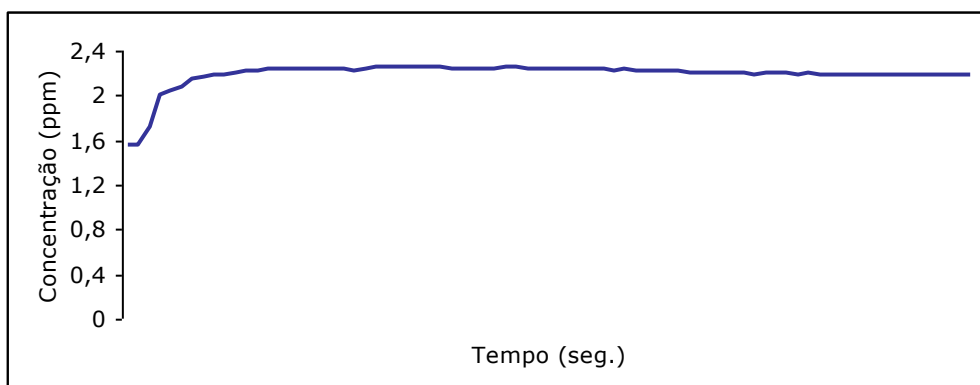
Fica, assim, evidenciado que em particular no LabD os valores de CM são não só elevados como, além disso, se mantêm elevados por um período de tempo considerável.

Este tipo informação é, aliás, referenciada por Preller, Burstyn e De Pater (2004) como uma relevante contribuição para caracterizar com maior detalhe a exposição às concentrações mais elevadas.

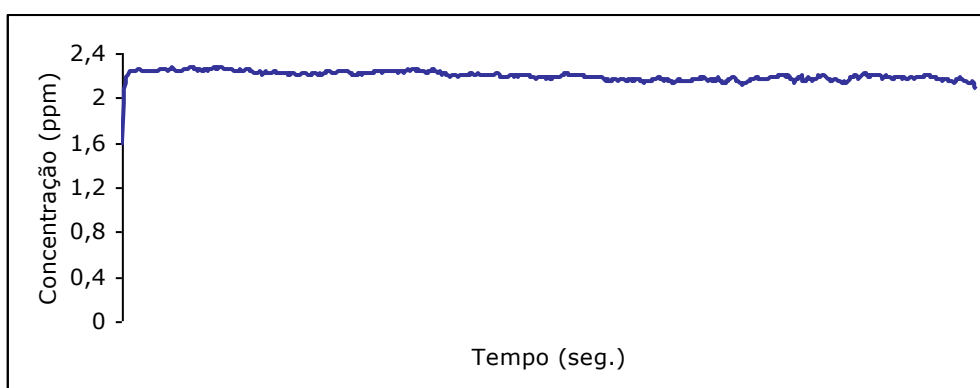
A apreciação deste indicador de contaminação ambiental e do seu significado permite concluir, ainda, sobre a eficácia dos dispositivos de ventilação. Inclusivamente, as medições ambientais realizadas com o método M1 demonstraram que ao longo do dia em que se realizaram as medições é possível observar a acumulação e manutenção das concentrações de formaldeído entre actividades (*cf.* Figuras 3.3 a 3.7).



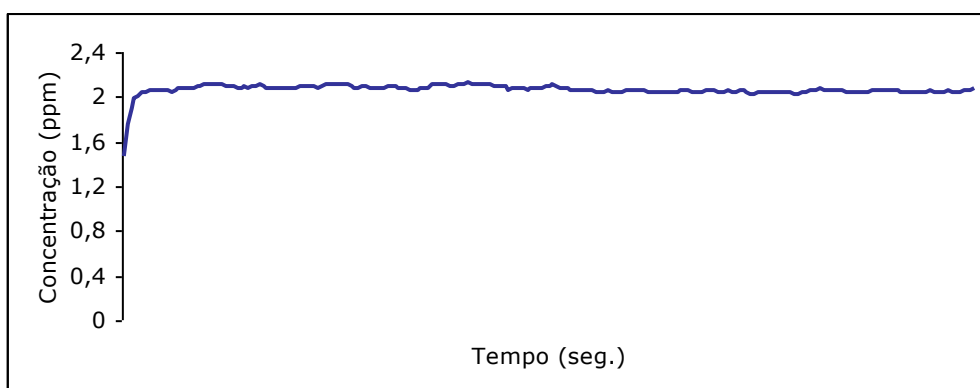
**Figura 3.3: Valores de concentração registados durante EM peça indeterminada (175 seg.).**



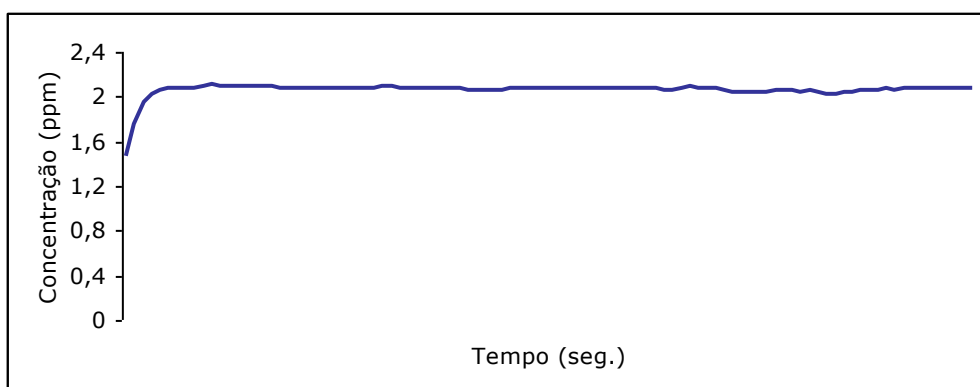
**Figura 3.4: Valores de concentração registrados durante EM útero (79 seg.).**



**Figura 3.5: Valores de concentração registrados durante EM ovários (782 seg.).**



**Figura 3.6: Valores de concentração registrados durante EM peça indeterminada (233 seg.).**



**Figura 3.7: Valores de concentração registados durante EM encéfalo (100 seg.).**

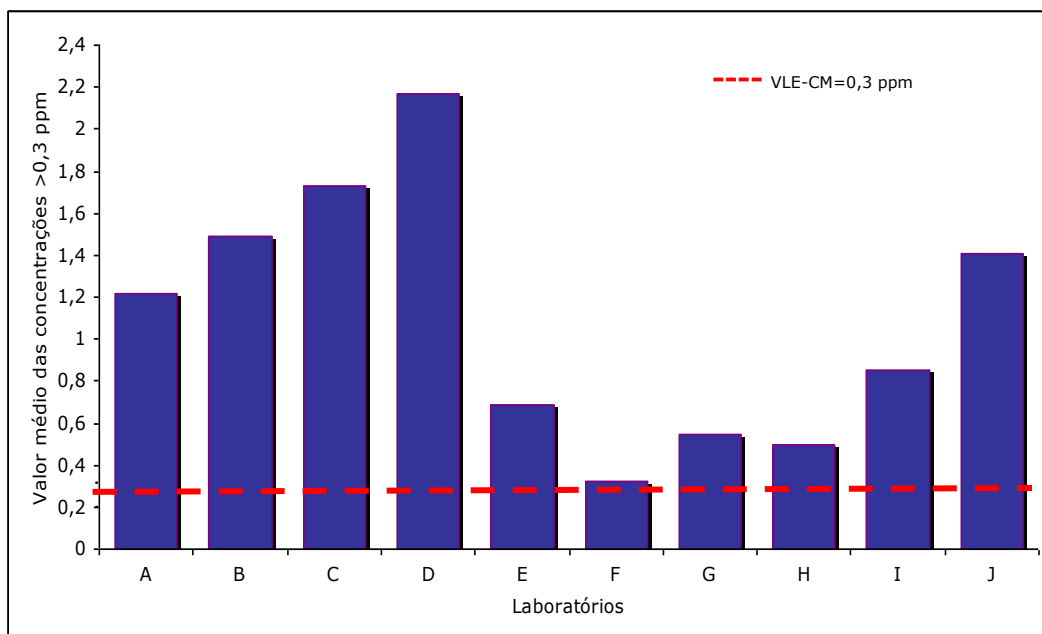
Recentemente, um estudo desenvolvido na Hungria reportou uma observação similar – manutenção de concentrações consideráveis de formaldeído no ambiente de trabalho durante o dia mesmo com a existência de dispositivos de ventilação (*Jakab, Klupp e Besenyei, 2010*).

No que concerne ao valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm, outro indicador de contaminação ambiental utilizado, verifica-se, mais uma vez, que o valor mais elevado se situa no LabD (2,17 ppm) e o mais baixo no LabF (0,32 ppm), embora neste caso as diferenças entre a maioria dos laboratórios não seja tão acentuada (*cf.* Quadro 3.3 e Figura 3.8).

**Quadro 3.3: Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório**

Laboratórios	Valor médio das concentrações >0,3 ppm (ppm)
A	1,22
B	1,49
C	1,73
D	2,17
E	0,69
F	0,32
G	0,55
H	0,50
I	0,85
J	1,41





**Figura 3.8: Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório.**

Tendo, assim, em conta os valores obtidos pela aplicação do método de avaliação ambiental M2 e, ainda, pelo cálculo dos indicadores Índice do Tempo de Regeneração (ITR) e valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm, a exposição ocupacional a formaldeído nos laboratórios estudados pode considerar-se como elevada (frequentes pontos de exposição a valores CM superiores ao valor-limite) e em períodos de tempo razoavelmente longos, sendo tal particularmente notório no LabD e podendo entender-se como menos negativa a situação de exposição no LabF.



São múltiplas as variáveis existentes numa situação de trabalho que podem promover a exposição ocupacional a um agente químico. No contexto da intervenção em Saúde Ocupacional e de modo a permitir a definição de prioridades na intervenção preventiva e/ou correctiva, importa não só conhecer essas variáveis mas também a influência que cada uma delas apresenta na contaminação ambiental existente (*Kromhout, 2002; Kromhout, Van Tongeren e Burstyn, 2005*).

Na presente investigação foram seleccionados três parâmetros (humidade relativa, temperatura ambiente, número médio de peças processadas por dia em cada laboratório) e considerados como variáveis independentes para avaliação da

sua influência nos níveis de contaminação ambiental por formaldeído nos diversos laboratórios.

No estudo de verificação de associação, dado os resultados obtidos para a regressão linear multivariada serem consonantes com os resultados proporcionados pela regressão linear simples, optou-se por apresentar apenas estes últimos.

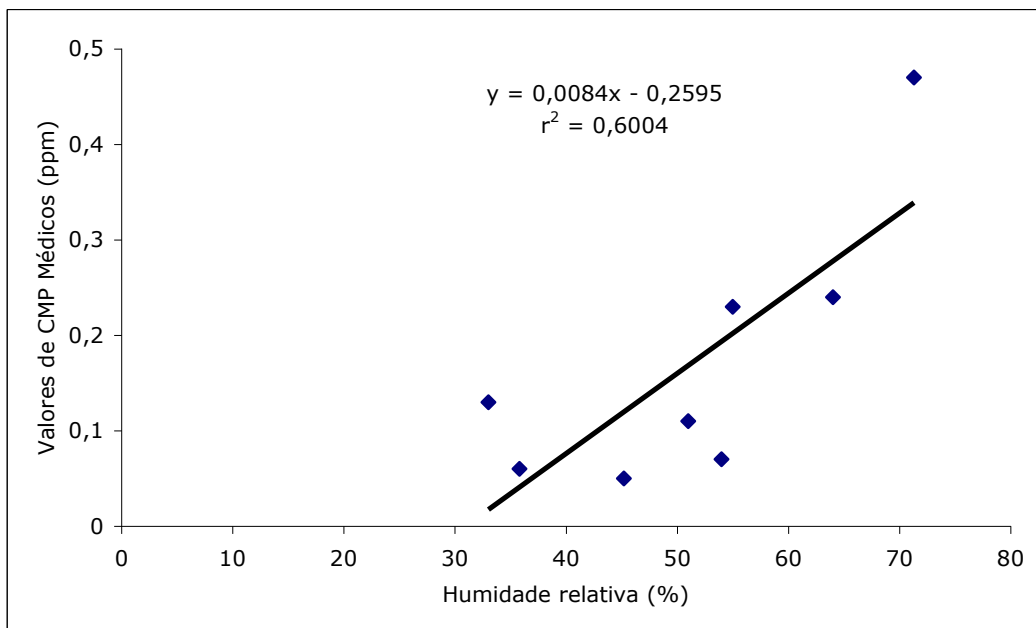
Segundo a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1992*), a humidade relativa do ar, em locais em que esteja presente o formaldeído, deverá situar-se entre 30 e 50%, taxas adequadas a minimizar a volatilização deste agente químico [ASHRAE Standard 55-1992].

No estudo efectuado, a humidade relativa medida (*cf.* Resultados, p. 100) registou valores superiores a 50% em 70% dos laboratórios. É uma situação que poderá encontrar justificação, pelo menos parcial, no facto de as medições terem sido realizadas no período do Inverno (Janeiro a Abril), logo, em períodos em que o ar do ambiente exterior já por si estaria com valores de humidade elevados.

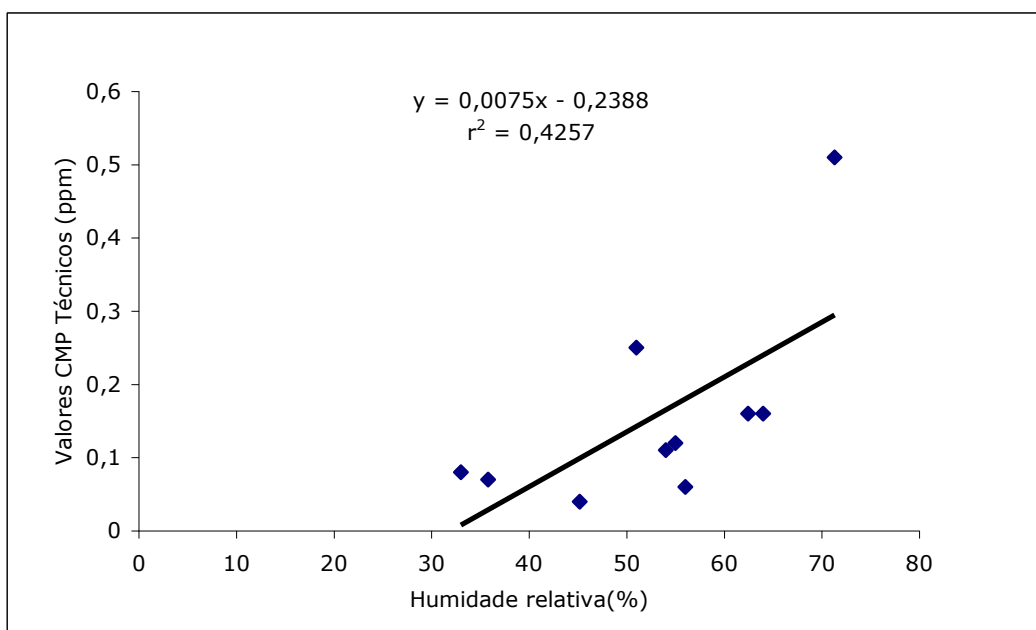
Estes valores medidos da humidade relativa não registaram associação com os valores médios das concentrações superiores a 0,3 ppm (VLE-CM) ( $p=0,35$ ) e contribuíram apenas em cerca de 11% ( $r^2=0,111$ ) para a média dos valores que ultrapassam o valor-limite para a CM.

A humidade relativa, no entanto, está positivamente associada ao indicador de contaminação ambiental da CMP por grupo de exposição, designadamente com os grupos de exposição dos Médicos Anatomo-Patologistas ( $p=0,02$ ) (*cf.* Figura 3.9) e dos Técnicos de Anatomia Patológica ( $p=0,04$ ) (*cf.* Figura 3.10).

Neste caso, a humidade relativa contribuiu em 60% ( $r^2=0,60$ ) para os valores da CMP obtidos no grupo de exposição dos Médicos Anatomo-Patologistas e em 42% ( $r^2=0,425$ ) para o dos Técnicos de Anatomia Patológica (*cf.* Figuras 3.9 e 3.10).



**Figura 3.9: Relação entre a Humidade Relativa e a CMP (Médicos).**



**Figura 3.10: Relação entre a Humidade Relativa e a CMP (Técnicos).**

Não existe, ainda, correlação estatisticamente significativa entre a humidade relativa e o ITR ( $p=0,81$ ), situação que se mantém mesmo excluindo os resultados do LabD (considerando-o como um *outlier* dado os valores significativamente maiores que os restantes).

No que concerne à temperatura ambiente, a recomendação realizada pela mesma ASHRAE e para as mesmas condições, é a de que não ultrapasse os 23,5°C

(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1992 [ASHRAE Standard 55-1992]).

No estudo presente, apenas um dos laboratórios (LabF) apresentou um valor de temperatura superior a 23,5°C.

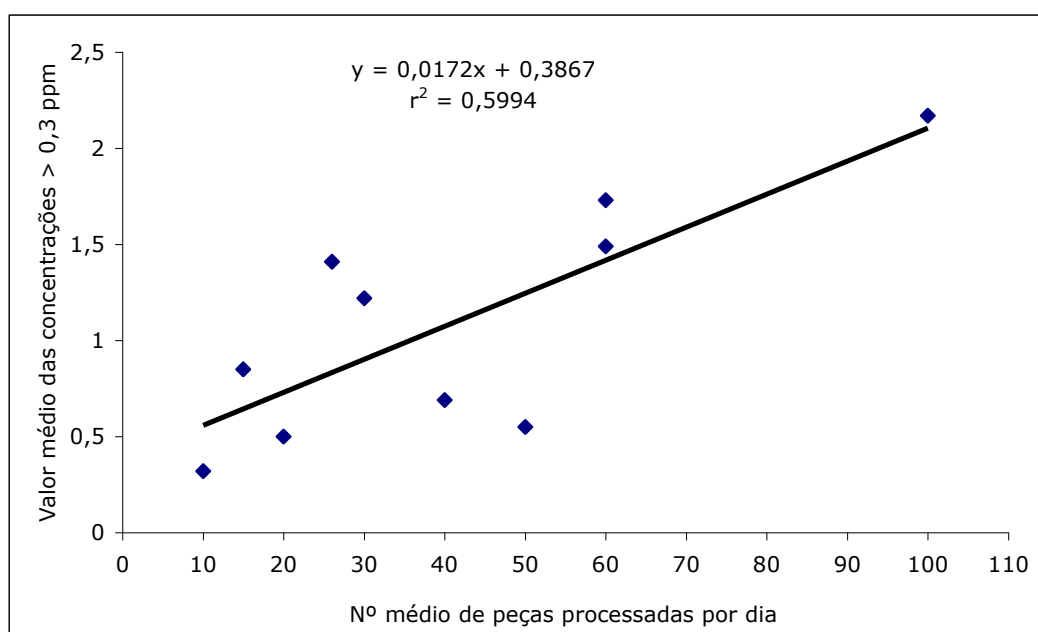
Não foi identificada associação estatisticamente significativa entre a temperatura ambiente e o valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm (VLE-CM) ( $p=0,34$ ) e verifica-se que a temperatura ambiente contribuiu apenas em cerca de 11% ( $r^2=0,114$ ) para este indicador de contaminação ambiental.

Da mesma forma, entre a temperatura ambiente e a CMP não se verificou uma correlação estatisticamente significativa para os três grupos de exposição considerados (Auxiliares  $p=0,91$ ; Médicos Anatomo-Patologistas  $p=0,39$ ; Técnicos de Anatomia Patológica  $p=0,075$ ).

E idêntica situação se verificou na avaliação de associação entre temperatura ambiente e o ITR ( $p=0,95$ ).

O estudo do número médio de peças processadas por dia em cada laboratório será um indicador da carga de trabalho em cada local.

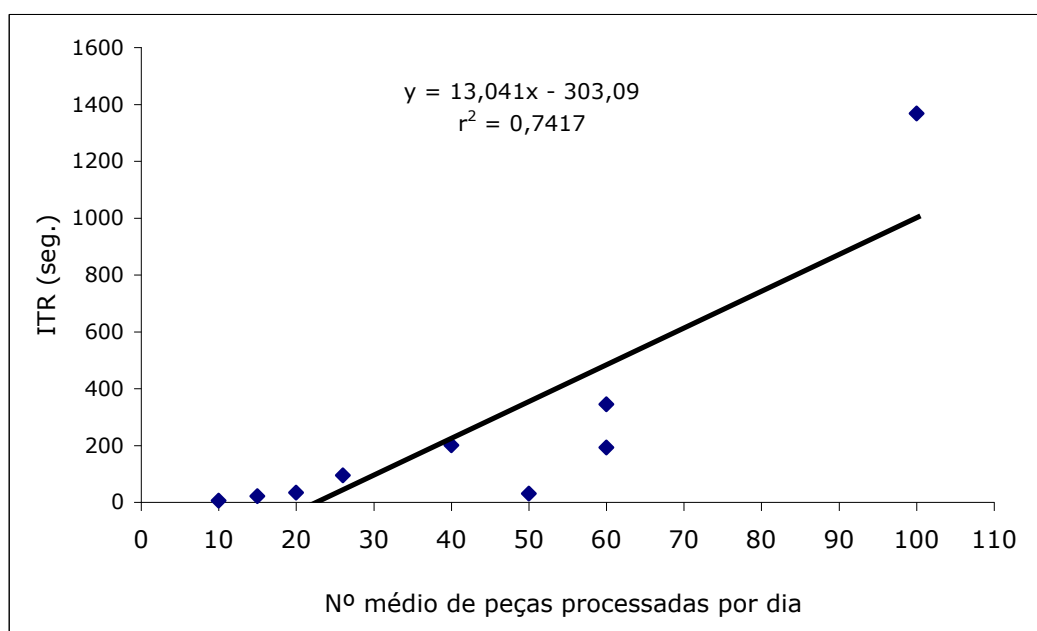
Verificou-se existir uma correlação estatisticamente significativa ( $p= 0,009$ ) entre o número médio de peças processadas por dia e o valor médio das concentrações superiores ao valor-limite para a CM (0,3 ppm), sendo que o número médio de peças contribuiu em cerca de 60% ( $r^2= 0,599$ ) para o valor médio das concentrações superiores 0,3 ppm (cf. Figura 3.11).



**Figura 3.11: Relação entre o número médio de peças processadas e o valor médio das concentrações > 0,3 ppm.**

Esta média diária de processamento de peças, contudo, não parece influenciar a exposição (apreciada pela CMP) a formaldeído no que se refere aos três grupos de exposição estudados (Auxiliares  $p=0,82$ ; Médicos Anatomo- Patologistas  $p=0,97$ ; Técnicos de Anatomia Patológica  $p=0,88$ ).

No entanto, existe uma forte associação entre esta variável e o ITR ( $p=0,001$ ), tendo o número médio de peças processadas por dia contribuído em cerca de 74% para o ITR obtido em cada laboratório ( $r^2= 0,742$ ). Também neste caso se mantém a mesma ligação se excluída a observação referente ao LabD embora com uma contribuição menor (53%) (cf. Figura 3.12).



**Figura 3.12: Relação entre o número médio de peças processadas por dia e o ITR.**

Em resumo, testando a associação dos resultados obtidos na avaliação da exposição a formaldeído com as variáveis independentes seleccionadas, a conclusão mais saliente que se detecta é a de que a exposição mais intensa (e excessiva) a formaldeído nestes laboratórios se encontra associada ao número médio de peças processadas por dia (cf. Quadro 3.4).

**Quadro 3.4: Resumo dos resultados das associações testadas**

	VM >0,3	CMP			ITR
		MAP	TAP	Aux	
<b>Humidade relativa</b>	<i>n.s.</i>	<i>p=0,02</i>	<i>p=0,04</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
<b>Temperatura ambiente</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
<b>Nº médio peças/dia</b>	<i>p=0,009</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>p=0,001</i>

VM >0,3 – Valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm por laboratório; CMP – Concentração Média Ponderada; ITR – Índice do Tempo de Regeneração; MAP – Médicos Anatomo-Patologistas; TAP – Técnicos de Anatomia Patológica; Aux – Auxiliares; n.s. – associação não significativa

No que respeita às relações com a temperatura ambiente e a humidade relativa, diversos estudos têm assinalado uma associação positiva e estatisticamente significativa em ambientes interiores entre estas duas variáveis, por um lado, e as concentrações de formaldeído, por outro, facto que estará relacionado com o aumento da volatilização do formaldeído em função de níveis crescentes de temperatura e humidade (*Myers, 1985; Arundel, Sterling e Biggin, 1986; Van Netten, Shirliffe e Svec, 1988, 1989; Wolkoff, 1998; Zhang, Luo e Wang, 2007; Järnström, 2008*).

No presente estudo, entretanto, essa associação não é observada pelo menos no que respeita aos valores elevados de formaldeído (dado que uma correlação estatisticamente significativa é patente entre a humidade relativa e a CMP em dois dos grupos de exposição considerados) (*cf. Quadro 3.4*).

Para tal poderá ter contribuído o facto de as medições ambientais das concentrações de formaldeído se terem realizado de uma forma contínua, enquanto a humidade relativa e a temperatura ambiente foram registadas de forma pontual a meio de cada período de medição das concentrações, podendo admitir-se que entre cada medição possa ter havido alterações nestes dois parâmetros ambientais (não registadas) que tenham influenciado a volatilização do formaldeído.

Quanto à questão do número médio de peças processadas diariamente, a associação observada com os dois indicadores de contaminação ambiental (valor médio de concentrações superior a 0,3 ppm e ITR) poderá ser influenciada pelo facto destes serem também sensíveis à contaminação ambiental passiva (contaminação existente no ambiente de trabalho resultante da acumulação de vapores de formaldeído emitidos durante as várias actividades), a qual, por sua vez, está intimamente relacionada com a carga de trabalho, por um lado, e com a ineficácia dos dispositivos de ventilação, por outro.

O facto de não se detectar associação significativa quando é tida em conta a exposição por grupos e avaliada pelo método M2 (CMP) dever-se-á à introdução na comparação de outros tempos de trabalho com exposições reduzidas, uma vez que neste método a medição é realizada ao longo de toda a actividade, acompanhando os trabalhadores nas suas deslocações a outras áreas do laboratório onde as peças anatómicas não são manuseadas e, por isso, com menores níveis de contaminação ambiental.

A associação entre o número médio de peças processadas por dia em cada laboratório e a contaminação ambiental por formaldeído descrita pelos elevados níveis de exposição está bem patente se se atender aos casos mais extremados: no LabD, que apresenta um maior número médio de peças processadas diariamente ( $n=100$ ), todos os resultados da concentração ambiental de formaldeído são superiores a 0,3 ppm; no LabF, pelo contrário, sendo o que apresenta o menor número médio de peças processadas diariamente ( $n=10$ ), apenas se verifica um dos resultados da CM com um valor superior a 0,3 ppm. De forma similar, os resultados do ITR apresentam a mesma diferença entre estes dois laboratórios.

Estas constatações parecem indicar, assim, que as peças impregnadas com formol são as fontes emissoras que representam maior contribuição para a contaminação ambiental por formaldeído, em particular na sala de entradas, local onde se aplicaram os dois métodos de avaliação. Estas conclusões são similares às apresentadas num estudo de Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam (2005) efectuado em oito laboratórios hospitalares de patologia do Irão, indicando as peças anatómicas como as principais fontes emissoras de formaldeído.



Devido à sua elevada volatilidade, o formaldeído segue a via inalatória como via de penetração preferencial no organismo humano, sendo desprezável a penetração por via dérmica e pouco provável, em contextos ocupacionais, a penetração por via digestiva (Herber, Duffus e Christensen, 2001; *International Agency for Research on Cancer*, 2006).

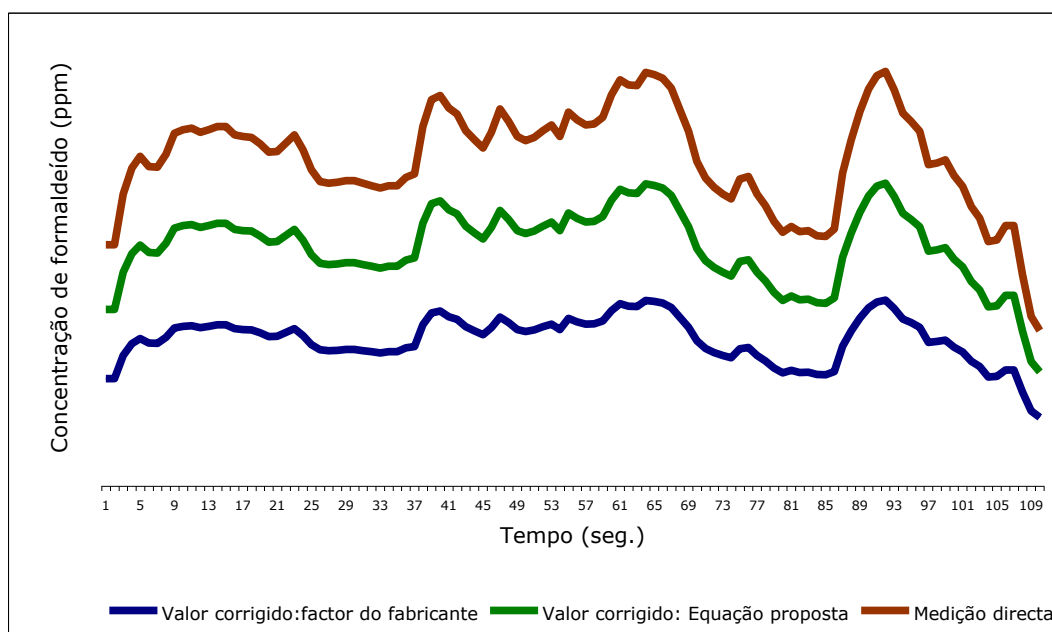
Por outro lado, no caso do formaldeído e devido ao seu rápido metabolismo, não é praticável a utilização de indicadores biológicos para avaliar a exposição a este agente químico (Lauwerys e Hoet, 2001; *International Agency for Research on Cancer*, 2006; Zhang, Tang e Rothman, 2010).

Assim, facilmente se percebe a importância do estudo das concentrações de formaldeído no ar ambiente e a sua relevância para o processo de avaliação da

exposição e dos riscos para a saúde dela derivados. Neste processo, acresce, ganha dimensão a questão da selecção de um método adequado de avaliação ambiental.

O presente estudo recorreu e comparou informação fornecida pela aplicação, nos 10 laboratórios hospitalares de anatomia patológica, de dois métodos de avaliação ambiental. A aplicação do método denominado no presente estudo como M1 concretizou-se por 83 medições da concentração de formaldeído através de um equipamento de leitura directa (medição por *Photo Ionization Detection*), enquanto o método referido como M2 (NIOSH 2541) implicou a recolha de 29 amostras no ar ambiente e posterior processamento laboratorial por cromatografia gasosa.

Os valores de concentração máxima obtidos através do método M1 foram sujeitos a uma correcção pela equação ( $Y = (0,6075 X) + 0,1$ ) sugerida por Ryan, Burroughs e Taylor (2003) (cf. Metodologia, p. 81). Esta equação foi aplicada em detrimento do factor de correcção proposto pelo próprio fabricante do equipamento ( $Y = 0,6 X$ ), tal sendo justificado pelo facto de ter sido estimada com a utilização de um equipamento com o mesmo princípio de medição e com uma lâmpada de ionização igual (11,7 eV), num mesmo contexto ocupacional e, ainda, durante o uso de uma solução com a mesma composição (formaldeído e metanol) (cf. Figura 3.13).



**Figura 3.13: Método M1: resultados da aplicação dos factores de correcção.**

No que concerne aos valores obtidos pela aplicação do método M2, estes foram sujeitos igualmente aos cálculos necessários para a estimativa da exposição



média ponderada previstos na respectiva norma regulamentar (cf. Anexo B da NP EN 689:2008, *Instituto Português da Qualidade, 2008a*).

Os resultados das avaliações ambientais realizadas com o objectivo de avaliar a exposição profissional a formaldeído estão muito dependentes dos métodos adoptados (*Ghasemkhani, Jahanpeyma e Azam, 2005*). Segundo Ryan Burroughs e Taylor (2003), serão vários os estudos que apresentam valores de CMP e de curta duração (conhecido no idioma inglês por STEL) inferiores aos valores considerados como limite para estes referenciais, evidenciando-se valores superiores quando se recorre a um equipamento de leitura directa para obtenção dos valores de CM. Por exemplo: 0,1 ppm para a CMP e de 2,3 ppm para a CM (*Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006*); 0,984 ppm para a CMP e de 1,694 ppm para a CM (*Ye, Yan e Zhao, 2005*); 0,4 ppm para a média de CMP e 2,24 ppm para a CM média em 14 laboratórios de patologia (*Shaham, Gurvich e Kaufman, 2002*).

São, obviamente, diferentes informações duma mesma realidade, apreciada de modos diferentes (mas não contraditórios). Os resultados da CMP (método M2) informam sobre um valor dito médio da exposição. Ou seja, indicia que tudo se desenvolve como se o indivíduo exposto estivesse sempre sujeito à mesma carga ambiental ao longo do período de tempo considerado. Os resultados fornecidos pelo método M1, por seu lado, referem-se a valores instantâneos da concentração ambiental ao longo do tempo de medição, deles se retirando, pelo óbvio interesse, aqueles considerados mais elevados para comparação com o valor-limite estabelecido para a CM.

O método M1 permitiu, assim, identificar as actividades que envolviam a exposição mais crítica (valor de CM mais elevado), revelando serem o exame macroscópico para os Médicos Anatomo-Patologistas e os Técnicos de Anatomia Patológica e a eliminação de reservas para o grupo dos Auxiliares. Este método, devido ao facto de envolver o registo simultâneo da actividade, permitiu ainda (e facto da maior importância) identificar variáveis e práticas de trabalho com responsabilidade directa e significativa nos padrões de exposição avaliados.

Este tipo de informação, acresce, é considerado de elevada importância, na medida em que fornece as indicações directas sobre os pontos sensíveis onde agir nos consequentes processos de correcção (*Ryan, Burroughs e Taylor, 2003; McGlothlin, Xu e Vosciky, 2005; Rosén, Andersson e Walsh, 2005; Viegas e Prista, 2009a; Viegas, Prista e Gomes, 2009a; Walsh, Forth e Clark, 2009*).

Um outro método, identificado por método NIOSH 3500, é com frequência utilizado em situações de quantificação da exposição ocupacional a formaldeído, principalmente quando se pretendem identificar as concentrações de curta duração

(conhecidas por CD ou STEL na versão inglesa). É, contudo, um método que apresenta limitações relacionadas com o facto de o amostrador ser estacionário (*cf.* Figura 3.14), pelo que não acompanha as movimentações e as aproximações às fontes emissoras (neste caso, as peças anatómicas impregnadas com a solução de formaldeído) realizadas pelos trabalhadores. O método, embora considerado o mais sensível, permitindo a detecção e medição de concentrações reduzidas de formaldeído, revela, assim, pouca adequação para situações de exposição ocupacional, conduzindo a que o próprio NIOSH não o recomende para o estudo de postos de trabalho móveis e sugerindo o método NIOSH 2541 para esse efeito (*National Institute for Occupational Safety and Health, 1994*).



**Figura 3.14: Amostrador estacionário do método NIOSH 3500.**

Acresce ainda o facto de as monitorizações de área, como as que se realizam com este tipo de amostrador, poderem, segundo alguns estudos, apresentar valores 5 vezes inferiores aos valores obtidos através de amostragens individuais realizadas na zona respiratória (*Pabst, 1987; Korky, Schwarz e Lustigman, 1987; Viegas, Prista e Gomes, 2009a*). Na realidade, importa referir que uma técnica que permita a medição das concentrações de formaldeído na zona respiratória será sempre mais representativa da realidade (*Ryan, Burroughs e Taylor, 2003*).

Assim, se estivermos perante postos de trabalho móveis e que envolvem diferentes aproximações à fonte poluente durante o desenrolar das actividades, o método M2 permitirá mais facilmente retratar a exposição, quando comparado com o método NIOSH 3500.

No entanto, não é possível, com qualquer destes dois métodos, proceder à identificação das CM e das actividades mais críticas em matéria de exposição, sendo para este efeito mais adequado recorrer a equipamento de leitura directa, como o utilizado no método M1.

Por outras palavras, no âmbito da avaliação (caracterização e quantificação) da exposição a formaldeído, o método M1, com o registo simultâneo da actividade, assume particular importância para o conhecimento detalhado das diversas variáveis da situação de trabalho que podem influenciar a exposição permitindo, numa fase posterior, conceber as medidas mais adequadas de prevenção e controlo da exposição. Aliás, isto será verdade não só para o caso do formaldeído, mas também para a generalidade da exposição profissional a agentes químicos em particular quando se trate de casos em que a identificação das concentrações máximas for mais pertinente (*Drummond, 1997; Rosén, Andersson e Walsh, 2005; Meijster, Tielemans e Schinkel, 2008*). Por exemplo, num estudo desenvolvido recentemente numa unidade de produção animal, onde se pretendeu conhecer a exposição a partículas nas diferentes actividades desenvolvidas naquele contexto ocupacional, foi demonstrado igualmente que a utilização de equipamento de leitura directa com o simultâneo registo da actividade é um importante recurso por permitir conhecer as actividades que envolviam maior exposição e, consequentemente, prioritárias em matéria de intervenção correctiva (*Walsh, Forth e Clark, 2009*).

Uma outra mais-valia do método M1 reside no facto de as imagens recolhidas durante a actividade, que apresentam a evolução da concentração do poluente ao longo do período de medição, poderem ser utilizadas em acções de formação e sensibilização, permitindo aos trabalhadores identificar as variáveis presentes na situação de trabalho que influencia a sua exposição. Trata-se, portanto, também de um importante recurso de formação dos trabalhadores (*Rosén, Andersson e Walsh, 2005; Walsh, Forth e Clark, 2009*).

Embora o método M1 recorra ao uso de equipamento de leitura directa, considerado pouco sensível para algumas situações em que ocorre exposição a misturas, estudos desenvolvidos recentemente têm vindo a demonstrar que o tipo de equipamento utilizado no presente estudo, que apresenta como princípio de medição a *Photo Ionization Detection* (PID), disponibiliza resultados válidos e fidedignos, comparáveis com os obtidos em métodos que envolvem o

processamento analítico laboratorial. A título de exemplo, cita-se o estudo de Coy, Bigelow e Buchan (2000) que comparou os resultados obtidos com um equipamento com o mesmo princípio de medição (PID) com os obtidos por um método que envolvia a recolha de amostras por adsorção e posterior análise por cromatografia gasosa (semelhante ao método M2 aplicado no presente estudo), tendo constatado haver associação entre os dois grupos de resultados.

Por outro lado, e sabendo que os efeitos para a saúde decorrentes da exposição a formaldeído parecem estar mais relacionados com a concentração do agente químico do que com a duração da exposição (*International Agency for Research on Cancer, 2006; Pyatt, Natelson e Golden, 2008*), o estudo das CM (método M1) é determinante para a caracterização do risco e para possibilitar a identificação das actividades críticas em matéria de exposição e prioritárias no que concerne à preconização de investimentos que visem a eliminação e/ou controlo da exposição (*Viegas, Prista e Gomes, 2009b*).

Acresce, ainda, o facto de actualmente a comunidade científica considerar o estudo das concentrações de pico indispensável, dado este tipo de exposição representar a possibilidade de elevadas doses alcançarem os tecidos e órgãos alvo, provocando potencialmente alterações no processo metabólico, sobrecarregando mecanismos de protecção e reparação e amplificando as respostas biológicas. São situações que poderão significar importantes efeitos para a saúde e que importa considerar em qualquer estudo que vise realizar uma avaliação do risco detalhada (*Smith, 2001; Vyskocil, Thuot e Turcot, 2001; Preller, Burstyn e De Pater, 2004*).

Considerando isto, Pyatt, Natelson e Golden (2008) salientam, como limitação na maioria dos estudos epidemiológicos desenvolvidos até ao momento, o facto dos efeitos para a saúde decorrentes da exposição ocupacional a formaldeído serem relacionados com uma exposição baseada na CMP como referencial de exposição e de não existir, na maioria dos estudos, dados sobre as CM a que os indivíduos estariam expostos. No caso da associação entre a exposição a formaldeído e o desenvolvimento de cancro nasofaríngeo, apenas dois estudos (*Hauptmann, Lubin e Stewart, 2003; Pinkerton, Hein e Stayner, 2004*) apresentaram dados sobre a exposição a CM, estimando valores de risco relativo duas vezes superior aos registados em outros estudos que utilizavam apenas dados para a CMP (*Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009*). E outros autores identificam igualmente a CM como o referencial mais importante a considerar quando se pretende estimar o risco relativo dos trabalhadores, expostos a formaldeído, desenvolverem leucemia mielóide, patologia também investigada numa possível associação com a exposição a formaldeído (*Collins e Lineker, 2004; Bosetti, McLaughlin e Tarone, 2008; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009; Zhang, Tang e*

*Rothman, 2010*). A este propósito, um estudo de revisão e meta-análise desenvolvido por Collins e Lineker (2004) calculou um risco aumentado de leucemia mielóide em patologistas, anatomistas e embalsamadores, aumento este que foi observado apenas na associação com os valores de CM.

Pode, assim, concluir-se que a utilização do método M1 proporciona dados que representam um incremento qualitativo da informação relativa à exposição, não só permitindo a sua quantificação mas, e de modo significativamente importante, fornecendo dados sobre as características da exposição, necessários à sua compreensão e à definição, posterior, de medidas correctivas.



A avaliação do risco tem um papel fundamental e condutor de toda a intervenção da Saúde Ocupacional por disponibilizar informações que permitem definir e fundamentar as prioridades da intervenção, possibilitando a melhor aplicação para os recursos (normalmente escassos) disponíveis.

No caso da exposição a agentes químicos, a avaliação dos riscos exige o conhecimento das especificidades do agente químico em estudo, designadamente as suas propriedades e características (como, por exemplo, a pressão de vapor que informa sobre a sua predisposição para volatilizar e potenciar a exposição), a sua capacidade para produzir efeitos adversos no organismo (toxicidade), o modo como interage com o organismo (toxicocinética e toxicodinâmica), a correspondência entre os níveis absorvidos e os efeitos determinados nos indivíduos expostos (relações dose-resposta e dose-efeito). Implica, igualmente, a caracterização qualitativa e quantitativa da forma, natureza e dimensão do contacto com o agente químico (*Read, 2000; IPCS, 1999, citado por Prista e Uva, 2003; Greim e Snyder, 2008*).

No presente estudo recorreu-se a uma metodologia proposta pela Universidade de Queensland para concretizar uma avaliação do risco de cancro nasofaríngeo nos trabalhadores expostos a formaldeído dos 10 laboratórios hospitalares de anatomia patológica que constituíram a amostra.

Na aplicação da metodologia proposta foram contempladas adaptações que derivam e se fundamentam em literatura científica a propósito, nomeadamente no que se refere à identificação do formaldeído como um dos poucos agentes químicos para o qual se aceita haver um limiar (1 ppm) relativo ao desenvolvimento dos efeitos genotóxicos associados (*Morgan, 1997; Bolt, 2003; Hengstler, Bogdanffy e Bolt, 2003; Bolt e Degen, 2004; Bolt, Foth e Hengstler, 2004; Arts, Rennen e de Heer, 2006; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006; Bolt e Huici-Montagud, 2008*).

Estas adaptações foram introduzidas tendo em conta o objectivo de avaliar de modo específico o risco real de um determinado efeito (e não dos diversos efeitos, tidos na sua globalidade, atribuíveis a agente químico em causa) (Uva, 2006), no caso, o risco de neoplasia nasofaríngea associada à exposição ao formaldeído.

Consideraram-se, como preconizado no método, o nível de gravidade do efeito (medida pela progressão das alterações celulares) e a probabilidade de exposição às concentrações ambientais do agente (aferida pela avaliação directa da actividade).

A categorização da gravidade foi, contrariamente à situação ideal, baseada na dose externa como parâmetro de referência em substituição da dose interna, situação derivada do facto de a rápida metabolização do formaldeído no organismo, com formação de metabolitos pouco específicos e rapidamente excretados, não permitir o recurso à dose interna quer do formaldeído quer de algum dos seus metabolitos (Lauwerys e Hoet, 2001; International Agency for Research on Cancer, 2006; Zhang, Tang e Rothman, 2010).

Como valor de concentração ambiental de formaldeído (dose externa) utilizou-se a CM obtida (através do método M1) em cada actividade estudada, uma vez que é considerado que o efeito carcinogénico do formaldeído estará mais relacionado com concentrações de pico do que com o tempo total de exposição (International Agency for Research on Cancer, 2006; Pyatt, Natelson e Golden, 2008). O estudo das CM apenas foi possível pela utilização de um equipamento de medição por leitura directa.

A análise ergonómica do trabalho possibilitou descrever a situação de trabalho detalhadamente, permitindo separar os diversos acontecimentos distintos da situação de trabalho e conhecer a frequência (indicador utilizado para a avaliação da probabilidade da exposição) da sua realização.

A avaliação do risco foi, então, efectuada com base nos resultados obtidos para as avaliações prévias da gravidade do efeito e da probabilidade da exposição (cf. Apêndice IV).

Considerando os resultados globais da aplicação da metodologia de avaliação do risco nas 83 actividades estudadas (cf. Figura 3.15), verifica-se que, em cerca de um terço (35%), o risco foi classificado como (pelo menos) elevado. Esta situação é mais acentuada nos LabB, LabC e LabD, onde o risco elevado se regista em mais de metade das actividades (cf. Figura 3.15). De modo contrário, nos LabE, LabF e LabI, a totalidade das avaliações situou-se no nível baixo, embora se tratem de locais onde foi estudado um número reduzido de actividades (3 em cada um) (cf. Figura 3.15).

Lab	n	Baixo	Médio	Elevado	Mto Elevado
A	20	65%	15%	20%	
B	17	6%	29%	65%	
C	6	17%	33%	50%	
D	7	14%		86%	
E	3	100%			
F	3	100%			
G	17	88%	6%	6%	
H	3	33%	33%	33%	
I	3	100%			
J	4		25%	25%	50%
Totais	83	49%	16%	33%	2%

Figura 3.15: Resultados globais da avaliação do risco.

Analisando os resultados, constata-se que em 7 dos laboratórios, pelo menos, uma actividade foi classificada como de risco elevado e que o exame macroscópico, a actividade mais estudada na presente investigação (69 vezes) e maioritariamente desenvolvida pelos Médicos Anatomo-Patologistas, apresentou um risco elevado em cerca de 40% dos casos (*cf.* Resultados, Figura 2.32, p. 124).

Isoladamente, acresce, o LabD poderá ser considerado o local mais problemático nesta exposição, na medida em que em 6 das 7 avaliações o risco foi considerado elevado (*cf.* Apêndice IV). A distribuição dos valores das concentrações registadas ao segundo evidenciou, no LabD, 99% dos resultados entre valores de 2 ppm e 4 ppm e a totalidade dos mesmos superiores a 1 ppm. São concentrações associadas a acontecimentos biológicos adversos que se situam na cadeia de desenvolvimento de cancro nasofaríngeo, designadamente a proliferação celular, a metaplasia e a citotoxicidade (*Morgan, 1997; Arts, Rennet e de Heer, 2006; Von Schulte, Duffus e Madle, 2006*). É de salientar o facto de o LabD ser o que apresenta o maior número médio de peças processadas por dia (100), indicando que se trata de um laboratório com uma actividade diária elevada na sala de entradas.

Um estudo paralelo integrado nesta mesma linha de investigação, tem vindo a investigar a frequência de micronúcleos (através do Teste dos Micronúcleos) nos

trabalhadores destas mesmas situações de trabalho, visando a identificação de efeitos genotóxicos atribuíveis à exposição a formaldeído. O Teste dos Micronúcleos (TMN) permite descrever alterações cromossómicas importantes para o processo de carcinogénese (Norppa, 2004) e a opção por este teste deveu-se ao facto de os micronúcleos terem sido considerados como os pontos de actuação genéticos mais sensíveis para a detecção dos efeitos genotóxicos do formaldeído (Speit, Schmid e Fröhler-Keller, 2007), tendo a aplicação deste teste citogenético seguido o preconizado em vários estudos (Merk e Speit, 1998; Bonassi, Fenech e Lando, 2001; Fenech, Chang e Kirsch-Volders, 2003; Speit and Schmid, 2006).

O TMN foi aplicado nos linfócitos periféricos dos trabalhadores destes laboratórios (n=56) e a um grupo de controlo (n=85). Os resultados revelaram que o grupo de trabalhadores expostos apresenta uma frequência de micronúcleos significativamente maior do que nos controlos (3,96 nos trabalhadores e 0,81 no grupo controlo, com  $p<0,001$ ), indiciando, portanto, uma acção genotóxica associada à exposição ao formaldeído (Ladeira e Viegas, 2009).

Estes resultados são similares aos apresentados em diversos estudos visando a identificação de efeitos para a saúde decorrentes da exposição profissional a formaldeído (Orsière, Sari-Minodier e Iarmarcovai, 2006; Costa, Coelho e Costa, 2008; Jakab, Klupp e Besenyei, 2010). Há, contudo, que salientar que nestes estudos foi utilizada uma diferente metodologia de avaliação da exposição (designadamente no que respeita à quantificação), logo, não havendo informação sobre os picos de concentração de formaldeído, os quais serão os factores mais determinantes no desenvolvimento dos efeitos genotóxicos (International Agency for Research on Cancer, 2006; Pyatt, Natelson e Golden, 2008).

Uma metodologia específica para avaliação do risco de cancro atribuível à exposição a agentes químicos (*Lifetime Cancer Probability* – LCP), visando estimar o excesso da probabilidade individual é utilizada pela *Environmental Protection Agency* (EPA) (U.S. Environmental Protection Agency, 1992; Wu, Li e Lee, 2003). A metodologia traduz-se na equação:

$$R_f = C_f \times IUR_f \times L_w,$$

Sendo



$R_f$	=	excesso de LCP para o formaldeído
$C_f$	=	valores de CMP obtidos para a exposição
$IUR_f$	=	$1,3 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (factor de ponderação definido pela EPA para o formaldeído através dos resultados obtidos em estudos toxicológicos e epidemiológicos)
$L_w$	=	factor de ajustamento (0,113) para o tempo de exposição (cerca de 40 anos em Portugal) em 70 anos de vida considerados pela EPA

Aplicando a equação os resultados obtidos no presente estudo (24 determinações da CMP), verificaram-se valores entre  $4,8 \times 10^{-4}$  e  $9,2 \times 10^{-3}$ . Alguns autores consideram, face a esta equação, haver um acréscimo de risco de cancro nasofaríngeo relacionado com a exposição a formaldeído a partir de  $1 \times 10^{-6}$  na população em geral e de  $1 \times 10^{-4}$  no caso da exposição profissional (*Gratt, 1996; Wu, Li e Lee, 2003*). Relativamente aos valores calculados, assim, verificar-se-á um acréscimo de risco em 20 das 24 situações estudadas.

Apesar de estas constatações serem concordantes com as conclusões que se retiram da avaliação do risco efectuada no presente estudo, é de salientar que se toma como ponto de partida a CMP, o que por si só, desde logo, subavalia a situação e limita a verdadeira interpretação do risco, que deve ser efectuada com base nos valores da CM (picos de exposição). Acresce que o recurso a esta metodologia da EPA apenas conduz a informação sobre o risco por posto de trabalho, não permitindo uma avaliação do risco por actividade como a metodologia aplicada no presente estudo.

A título de exemplo da aplicação da metodologia proposta pela EPA refira-se um estudo desenvolvido numa fábrica de produção de laminados (*He e Zhang, 2009*) e um outro em laboratórios de anatomia patológica (*Pilidis, Karakitsios e Kassomenos, 2009*), um e outro concluindo pela existência de risco cancerígeno acrescido relacionado com a exposição a formaldeído.

Importa, contudo, realçar, no contexto da Saúde Ocupacional, a pertinência de conhecer as actividades mais críticas em cada posto de trabalho, designadamente para uma adequada definição de prioridades de intervenção e para a identificação das medidas técnicas e/ou organizacionais pertinentes, com vista a eliminar ou pelo menos minimizar a exposição (*Susi e Schneider, 1995; Ryan,*

*Burroughs e Taylor, 2003; McGlothlin, Xu e Vosciky, 2005; Rosén, Andersson e Walsh, 2005; Viegas, Prista e Gomes, 2009a; Viegas e Prista, 2010c).*

Este objectivo, na realidade, só é possível se se conhecer o grau de contribuição de cada actividade para a exposição, bem como as variáveis que influenciam a exposição e os constrangimentos da própria actividade. E este conhecimento só é adequadamente proporcionado e adquirível com a aplicação da metodologia preconizada no presente estudo, designadamente no que respeita à necessidade de se efectuar uma análise (ergonómica) do trabalho e se utilizarem os valores de CM para o estudo da exposição.

A avaliação do risco desenvolvida no presente estudo (ou se se quiser, este tipo de avaliação do risco), importa salientar, não levou em linha de conta aspectos que se relacionam com a variabilidade dos indivíduos expostos.

Em matéria de exposição ambiental e dos decorrentes efeitos para a saúde dos trabalhadores expostos, terá que se reconhecer que, para uma mesma concentração, existem variáveis individuais que condicionam o desenvolvimento dos correspondentes efeitos para a saúde, na medida em que determinam diferentes susceptibilidades (ou vulnerabilidades) à acção do agente químico (*Gibson e Skett, 2001; Kelada, Eaton e Wang, 2003; Weis, Balshaw e Barr, 2005; Uva, 2006*).

Algumas características individuais podem condicionar a resposta dos indivíduos expostos a um xenobiótico, como são os casos da idade, do género, do estado de saúde geral e patologias pré-existentes, bem como os estados hormonais que decorrem de situações específicas como a gravidez (*Gibson e Skett, 2001; Hatagima, 2002*).

Outro aspecto a considerar é o das exposições múltiplas. Alguns indivíduos podem apresentar células em diferentes estados de carcinogénese como resultado da acção de factores de risco diversos, incluindo químicos. A exposição a formaldeído, nestes casos, pode comportar sempre algum risco independente da dose, por se ter que considerar o efeito aditivo das exposições, situação frequente nos contextos ocupacionais e uma realidade nos laboratórios de anatomia patológica (*Apostoli, Lucchini e Alessio, 1996; Kirsch-Volders, Aardema e Elhajouji, 2000*).

Mas, pela sua actualidade e natureza, de entre as variáveis individuais destaque-se o caso dos polimorfismos enzimáticos, cujo papel na diferente resposta do organismo a um determinado agente químico vem sendo progressivamente um alvo mais presente na investigação dos últimos anos.

Por exemplo, polimorfismos em genes responsáveis pelas enzimas metabólicas podem influenciar a capacidade de um organismo eliminar, através do

processo metabólico, um tóxico após exposição (Hirvonen, 1997; Kelada, Eaton e Wang, 2003; Wünsch Filho e Zago, 2005; Van Leeuwen, Vermeire e Vermeire, 2007; Garte, 2008; Bertazzi and Mutti, 2008).

É o caso da desidrogenase do formaldeído (ADH3), enzima que desempenha um importante papel na destoxicação deste agente químico. Os polimorfismos genéticos já identificados nesta enzima e as correspondentes diferenças genéticas inter-individuais podem representar diferentes capacidades de resposta ao formaldeído e, portanto, de protecção contra a sua acção (Hedberg, 2001; Von Schulte, Bernauer e Madle, 2006).

As determinantes individuais na capacidade de resposta à acção dos agentes químicos está, além do mais, associada à capacidade individual de reparação do ADN, aspecto evidenciado em diversos estudos relacionados com o risco de cancro (Berwick e Vineis, 2000; Kelada, Eaton e Wang, 2003; Vähäkangas, 2008; Berwick e Albertini, 2008).

O facto de a metodologia de avaliação do risco aplicada no presente estudo não contemplar os aspectos relacionados com as diferenças individuais pode ser considerado como uma limitação ou, talvez, uma insuficiência do método, dado que não individualiza devidamente o risco real. Com o objectivo de elevar o padrão de protecção, face à dificuldade em contemplar estas variabilidades, a EPA, por exemplo, preconiza a introdução de um factor de incerteza fixo (divisão por 10 de qualquer NOAEL — *No Observed Adverse Effect Level* — estimado), visando contemplar, no resultado da avaliação do risco, as diferenças existentes entre indivíduos da mesma espécie (Van Leeuwen, Vermeire e Vermeire, 2007).

Um último aspecto a considerar na aplicação desta metodologia reside no facto de, embora o mecanismo de acção do formaldeído para o desenvolvimento de cancro nasofaríngeo seja plausível e coerente, a classificação da gravidade das exposições ter sido baseada, essencialmente, em resultados provenientes de estudos experimentais posteriormente extrapolados para o Homem, podendo, assim, existir alguma incerteza associada (Uva, 2006; McGregor, Bolt e Coglian, 2006).

No presente estudo, o formaldeído foi avaliado como risco relativamente a uma consequência já conhecida — o cancro nasofaríngeo. Mas existirão outros efeitos adversos, como é o caso da leucemia mielóide, de patologias que vêm sendo associadas à exposição a formaldeído e que importará acompanhar para uma verdadeira avaliação do risco na exposição a este agente químico (International Agency for Research on Cancer, 2006; Zhang, Steinmaus e Eastmond, 2009; Zhang, Tang e Rothman, 2010).

Considerando estes aspectos, a avaliação do risco deve ser encarada como algo dinâmico e passível de sofrer alterações. Assim, é desejável que a evolução do conhecimento sobre os mecanismos de acção do formaldeído no organismo humano seja considerada para que daí resultem alterações fundamentadas na metodologia proposta, de modo a que a sua aplicação resulte numa adequada e real avaliação do risco para a saúde dos trabalhadores expostos (*Viegas e Prista, 2010a*).

#### **4. Conclusões e Perspectivas Futuras**

Do estudo realizado, da sua preparação, do seu desenvolvimento e da análise dos resultados obtidos, pode concluir-se:

**1.**

Em todos os laboratórios se verificaram situações de exposição superior ao VLE-CM (0,3 ppm), tal correspondendo a mais de 90% das actividades estudadas, sendo ainda característica importante o facto de se evidenciar em períodos de tempo razoavelmente longos. Dado não se perspectivar, a curto prazo, a substituição do formaldeído para os fins em causa, esta conclusão deverá merecer a devida atenção de modo a serem definidas estratégias de intervenção ao nível das condições de trabalho conducentes a uma efectiva diminuição da exposição dos trabalhadores a este agente químico.

**2.**

A carga de trabalho (considerando-se como seu indicador o número médio de peças processadas por dia em cada laboratório) tem influência directa na situação de exposição dos trabalhadores, na medida em que participa nos níveis de contaminação ambiental por formaldeído (associação estatisticamente significativa com os indicadores de contaminação ambiental “valor médio das concentrações superiores a 0,3 ppm” e “Índice do Tempo de Regeneração”). As estratégias preventivas terão, assim, que ter em conta aspectos como a distribuição do trabalho ao longo do dia, a tipologia das peças a manipular e os procedimentos específicos a respeitar.

**3.**

É patente uma particular intensidade de exposição no decurso da actividade designada por “exame macroscópico” e relativamente ao grupo de exposição dos Médicos Anatomo-Patologistas. A planificação dos programas de prevenção decorrentes das estratégias acima referidas deverá, assim, contemplar particular

atenção a estas situações, designadamente equacionando a questão de adequados recursos de ventilação (localizada e geral) e a da sensibilização dos trabalhadores para a adopção de práticas de trabalho que visem a menor volatilização e dispersão do formaldeído no ambiente de trabalho.

#### **4.**

A obtenção de múltiplas informações determinantes para uma adequada avaliação da exposição e uma pertinente interpretação dos resultados e suas relações foi veiculada pelo recurso à metodologia ergonómica de análise do trabalho. Por exemplo, foi neste contexto que foi possível evidenciar a importância de situações como a presença de recipientes com formol abertos durante o exame macroscópico, a existência de gazes embebidas em formol depositadas no plano de trabalho, a maior proximidade ao plano de trabalho assumida pelo trabalhador nos exames macroscópicos e, em particular, com as peças de menor dimensão. O papel da análise do trabalho, como metodologicamente preconizado pela Ergonomia no diagnóstico e gestão dos riscos para a saúde decorrentes da exposição profissional a agentes químicos, resulta, assim, bem evidenciado.

#### **5.**

De entre os métodos possíveis de aplicar para avaliação da exposição profissional ao formaldeído, o aqui designado por método M1 (recurso a equipamento de leitura directa por *Photo Ionization Detection* – PID) revelou proporcionar uma informação mais detalhada e pertinente. Por um lado, permite elaborar um perfil das concentrações ambientais da exposição ao longo do tempo. Por outro, proporciona a associação de cada registo de concentração com a actividade correspondente. É, assim, um método que disponibiliza informação relevante para a compreensão da exposição, quer no aspecto quantitativo, quer no que se relaciona com elementos da situação de trabalho que a influenciam.

Tendo em conta o facto de o efeito carcinogénico da responsabilidade do formaldeído estar mais associado à existência de picos de concentração do que à duração da exposição, o referido método encerra uma vantagem acrescida, dado que evidencia as concentrações de pico, ao contrário dos outros métodos que apenas disponibilizam o cálculo da concentração média num determinado período (designadamente, o método NIOSH 2541, também neste estudo aplicado).

#### **6.**

A metodologia de avaliação do risco adoptada parece adequar-se a este contexto ocupacional e à exposição a este factor de risco e, em particular, ao efeito para a saúde que determina, designadamente, o cancro nasofaríngeo.

A sua aplicação permitiu realçar a necessidade de: 1) existirem dados de estudos experimentais disponíveis que fundamentem a relação dose-resposta (no

caso em estudo, baseou-se nas concentrações máximas e na cadeia de efeitos biológicos adversos associados) e 2) de se estudar, com o maior detalhe possível, as situações de trabalho identificando as variáveis que influenciam a exposição.

## **7.**

Se o estudo da exposição concorre de modo decisivo para a avaliação do risco (ou riscos) para a saúde dos trabalhadores expostos, importa igualmente aprofundar o conhecimento acerca dos efeitos, seu mecanismo de acção e desenvolvimento e, ainda, a dimensão das suas consequências.

Será, assim, de total pertinência concluir pela necessidade de estudos que visem 1) uma melhor caracterização dos efeitos induzidos pela exposição ao formaldeído, designadamente no que respeita à sua genotoxicidade e à sua associação (como indiciada em alguns estudos recentes) com a leucemia mielóide, bem como 2) o desenvolvimento de métodos e técnicas susceptíveis de identificar precocemente estes efeitos.

A evolução do conhecimento sobre o mecanismo de acção do formaldeído no organismo humano e dos seus efeitos para a saúde dos indivíduos expostos conduz, por seu turno, à necessidade de aferir e aperfeiçoar a aplicação da metodologia de avaliação do risco para que esta seja adequada, proporcionar um real diagnóstico e permitir uma coerente intervenção melhorativa.

## Referências Bibliográficas

ADRIANO, A. ; PALMA, J. ; SOUSA, M. - Satisfação profissional dos técnicos de anatomia patológica, citológica e tanatológica. Lisboa : Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, 2005. Trabalho desenvolvido no âmbito da licenciatura do Curso Superior de Anatomia Patológica, Citológica e Tanatológica, ministrado pela ESTeSL, Instituto Politécnico de Lisboa.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – Toxicological profile of formaldehyde. Atlanta : ATSDR, 1999.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – Formaldehyde sampling of FEMA temporary-housing trailers. Atlanta : ATSDR, 2007.

AITIO, A. ; KALLIO, A. – Exposure and effect monitoring : a critical appraisal of their practical application. **Toxicology Letters**. 108 : 2-3 (September 1999) 137-147.

ALBERTINI, R. J. ; ANDERSON, D. ; DOUGLAS, D. R. – IPCS guidelines for the monitoring of genotoxic effects of carcinogens in humans : international programme on chemical safety. **Mutation Research**. 463 : 2 (August 2000) 111-172.

ALBUQUERQUE, P. ; FERRO, A. – A qualidade do ar interior nos serviços de anatomia patológica. **Revista Segurança**. 167 (Julho-Agosto 2005) 45-50.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) – TLVs and BEIs : based on the documentation of the threshold limits values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2002.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) – ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 : thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA : ASHRAE, 1992.

ANDRADE, M. V. ; PINHEIRO, H. L. ; ANDRADE, P. A. – Compostos carbonílicos atmosféricos : fontes, reatividade, níveis de concentração e efeitos toxicológicos. **Química Nova**. 25 : 6b (Novembro-Dezembro 2002) 1117-1131.

APOSTOLI, P. ; LUCCHINI, R. ; ALESSIO, L. – Proposal of a method for identifying exposure to hazardous chemicals in biomedical laboratories. **Clinica Chimica Acta**. 256 : 1 (December 1996) 75-86.

APPELMAN, L. M. ; WOUTERSEN, R. A. ; ZWART, A. – One-year inhalation toxicity study of formaldehyde in male rats with a damaged or undamaged nasal mucosa. **Journal of Applied Toxicology**. 8 : 2 (April 1988) 85-90.

ARMSTRONG, R. W. ; IMREY, P. B. ; LYE, M. S. – Nasopharyngeal carcinoma in Malaysian Chinese : occupational exposures to particles, formaldehyde and heat. **International Journal of Epidemiology**. 29 : 6 (December 2000) 991-998.

ARTS, J. H. ; MUIJSER, H. ; KUPER, C. F. – Setting an indoor air exposure limit for formaldehyde : factors of concern. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 52 : 2 (November 2008) 189-194.

ARTS, J. H. ; RENNEN, M. A. ; de HEER, C. – Inhaled formaldehyde : evaluation of sensory irritation in relation to carcinogenicity. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 44 : 2 (March 2006) 144-160.

ARUNDEL, A. V. ; STERLING, E. M. ; BIGGIN, J. H. – Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. **Environmental Health Perspectives**. 65 (March 1986) 351-361.

ASSOCIAÇÃO DE INDÚSTRIAS DE MADEIRA E MOBILIÁRIO DE PORTUGAL (AIMMP) – A fileira de madeira em Portugal (2006) : caracterização estatística do sector madeira e mobiliário. [Em linha] AIMMP, 2006. [Consult. 29 Nov. 2008]. Disponível em <http://www.aimmp.pt/DOCUMENTOS/sector2006.pdf>.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS INDUSTRIAIS DE CALÇADO, COMPONENTES, ARTIGOS DE PELE – Monografia estatística' 07. [Em linha] APICCAP, 2007. [Consult. 29 Nov. 2008]. Disponível em <http://portal.apiccaps.pt:7778/PortletsApiccaps/temp/16022.PDF>.

BÁEZ, A. P. ; PADILLA, H. ; GARCÍA, R. – Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City and Xalapa, Mexico. **The Science of the Total Environment**. 302 : 1-3 (January 2003) 211-226.

BARBER, R. D. ; DONOHUE, T. J. – Pathways for transcriptional activation of a glutathione-dependent formaldehyde dehydrogenase gene. **Journal of Molecular Biology**. 280 : 5 (July 1998) 775-784.

BARSKY, J. B. ; QUE HEE, S. S. ; CLARK, C. S. – An evaluation of the response of some portable, direct-reading 10.2 eV and 11.8 eV photoionization detectors, and a flame ionization gas chromatograph for organic vapors in high humidity atmospheres. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 46 : 1 (January 1985) 9-14.



BARTZIS, J. G. ; CANNA-MICHAELIDOU, S. C. ; KOTZIAS D. – BUMA (Prioritization of Building Materials as Indoor Pollution Sources) Project: Major Key Activities and Project Results. In HEALTHY BUILDINGS, 9<sup>th</sup> international conference & exhibition, Syracuse, NY, September 13-17, 2009. 585.

BEAGLEHOLE, R. ; BONITA, R. ; KJELLSTROM, T. – Basic epidemiology. Geneva : World Health Organization, 2003.

BEDINO, J. H. – Formaldehyde exposure hazards and health effects : a comprehensive review for embalmers. **The Champion Expanding Encyclopedia of mortuary practices**. 650 (2004) 2633-2649.

BERNARD, A. ; LAUWERYS, R. – La surveillance biologique de l'exposition aux toxiques industriels : situation actuelle et perspectives de développement. **Archives des Maladies Professionnelles de Médecine du Travail et de Sécurité Sociale**. 50 : 1 (1989) 101-107.

BERNSTEIN, J. A. ; ALEXIS, N. ; BACCHUS H. - The health effects of nonindustrial indoor air pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**. 121 : 3 (2008) 585-591.

BERTAZZI, P. A. ; MUTTI, A. – Biomarkers, disease mechanisms and their role in regulatory decisions. In WILD, C. ; VINEIS, P. ; GARTE, S., ed. lit. - Molecular epidemiology of chronic diseases. New York : Wiley, 2008. 243-254.

BERWICK, M. ; ALBERTINI, R. J. – Biomarkers of mutation and DNA repair capacity. In: WILD, C. ; VINEIS, P. ; GARTE, S., ed. lit. – Molecular epidemiology of chronic diseases. New York : Wiley, 2008. 127-139.

BERWICK, M. ; VINEIS, P. – Markers of DNA repair and susceptibility to cancer in humans : an epidemiologic review. **Journal of the National Cancer Institute**. 92 : 11 (June 2000) 847-897.

BINETTI, R. ; COSTAMAGNA, F. M. ; MARCELLO, I. – Development of carcinogenicity classifications and evaluations : the case of formaldehyde. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanità**. 42 : 2 (2006) 132-143.

BLAIR, A. ; ZHENG, T. ; LINOS, A. – Occupation and leukemia : a population-based case-control study in Iowa and Minnesota. **American Journal of Industrial Medicine**. 40 : 1 (July 2001) 3-14.

BOLT, H. M. – Genotoxicity-threshold or not? Introduction of cases of industrial chemicals. **Toxicology Letters**. 140-141 (2003) 43-51.

BOLT, H. M. ; DEGEN, G. H. – Human carcinogenic risk evaluation, Part II : contributions of the EUROTOX specialty section for carcinogenesis. **Toxicological Sciences**. 81 : 1 (2004) 3-6.

BOLT, H. M. ; FOTH, H. ; HENGSTLER J. G. – Carcinogenicity categorization of chemicals : new aspects to be considered in a European perspective. **Toxicology Letters**. 151 : 1 (June 2004) 29-41.

BOLT, H. M. ; HUICI-MONTAGUD, A. – Strategy of the scientific committee on occupational exposure limits (SCOEL) in the derivation of occupational exposure limits for carcinogens and mutagens. **Archives of Toxicology**. 82 : 1 (2008) 61-64.

BOLT, H. M. ; THEIR, R. – Biological monitoring and Biological Limit Values (BLV) : the strategy of the European Union. **Toxicology Letters**. 162 : 2-3 (April 2006) 119-124.

BONNARD, N. ; FALCY, M. ; PASQUIER, E. – Fiche toxicologique FT 7 : aldéhyde formique et solutions aqueuses. Paris : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles, 2008.

BONASSI, S. ; FENECH, M. ; LANDO, C. – HUman MicroNucleus project : international database comparison for results with the cytokinesis-block micronucleus assay in human lymphocytes : I. Effect of laboratory protocol, scoring criteria, and host factors on the frequency of micronuclei. **Environmental and Molecular Mutagenesis**. 37 : 1 (2001) 31-45.

BOSETTI, C. ; MCLAUGHLIN, J. K. ; TARONE, R. E. – Formaldehyde and cancer risk : a quantitative review of cohort studies through 2006. **Annals of Oncology**. 19 : 1 (January 2008) 29-43.

BOSTWICK, D. G. ; AL ANNOUF, N. ; CHOI, C. – Establishment of the formalin-free surgical pathology laboratory : utility of an alcohol-based-fixative. **Archives of Pathology and Laboratory Medicine**. 118 : 3 (March 1994) 298-302.

BOYLE, T. – Health and safety : risk management. 2<sup>nd</sup> revised ed. Leicestershire : IOSH Services, 2003.

BRICKUS, L. S. ; NETO, F. R. – A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**. 22 : 1 (1999) 65-74.

BRITISH STANDARDS (BS) – BS OHSAS 18001 : 2007 : Occupational health and safety management systems : requirements. London : BS, 2007.

BROWN, R. H. – The sampling of gases and vapours : principles and methods. In GARDINER, K. ; HARRINGTON, J. M., ed. lit. – **Occupational hygiene**. 3<sup>rd</sup> ed. Massachussetts : Blackwell Publishing, 2005. 208-221.

BURGAZ, S. ; ERDEM, O. ; CAKMAK, G. - Cytogenetic analysis of buccal cells from shoe-workers and pathology and anatomy laboratory workers exposed to *n*-hexane, toluene, methyl ethyl ketone and formaldehyde. **Biomarkers**. 7 : 2 (2002) 151-161.

CÂMARA, V. M. – Textos de epidemiologia para vigilância ambiental em saúde. Brasília : Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, 2002.

CARRIER, G. ; BOUCHARD, M. ; NOISEL, N. – Health impact of an occupational exposure to formaldehyde. Montréal : Institut de Recherche Robert Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2006.

CASANOVA, M. ; DEYO, D. F. ; D'A. HEACH, H. – Covalent binding of inhaled formaldehyde to DNA in the nasal mucosa of Fischer 344 rats : analysis of formaldehyde and DNA by high-performance liquid chromatography and provisional pharmacokinetic interpretation. **Fundamental and Applied Toxicology**. 12 : 3 (1989) 397-417.

CELPA – Boletim estatístico, 2007. [Em linha] Lisboa : Associação de Indústria Papeleira Portuguesa, 2008. Disponível em [http://www.celipa.pt/images/pdf/art209\\_pt\\_be\\_2007.pdf](http://www.celipa.pt/images/pdf/art209_pt_be_2007.pdf)

CHANG, J. C. ; GROSS, E. A. ; SWENBERG, J. A. – Nasal cavity deposition, histopathology and cell proliferation after single or repeated formaldehyde exposures in B6C3F1 mice and F-344 rats. **Toxicology and Applied Pharmacology**. 68 : 2 (April 1983) 161-176.

CHANG, J. C. ; GUO, Z. ; FORTMANN, R. – Characterization and reduction of formaldehyde emissions from a low-VOC latex paint. **Indoor Air**. 12 : 1 (March 2002) 10-16.

CHEN, J. ; SO, S. ; HOASON, L. – Atmospheric formaldehyde monitoring in the Greater Houston area in 2002. **Applied Spectroscopy**. 58 : 2 (2004) 243-247.

CHRISTENSEN, C. S. ; SKOV, H. ; NIELSEN, T. – Temporal variation of carbonyl compound concentrations at a semi-rural site in Denmark. **Atmospheric Environment**. 34 : 2 (2000) 287-296.

CHRISTOL, J. – O diagnóstico em ergonomia. In CASTILLO J. J. ; VILLENA, J, ed. lit. – Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005. 417-427.

CHRISTOL, J. ; MAZEAU, M. – La pratique de l'ergonomie. In XXIII JOURNÉES NATIONALES DE MÉDECINE DU TRAVAIL, Besançon, juin 1994. 56 : 4 (1995) 274-281.

COFFEY, C. C. ; PEARCE, T. A. ; LAWRENCE, R. B. – Measurement capability of field portable organic vapour monitoring instruments under different experimental conditions. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**. 6 : 1 (January 2009) 1-8.

COGGON, D. ; HARRIS, E. C. ; POOLE, J. – Extended follow-up of a cohort of British chemical workers exposed to formaldehyde. **Journal of the National Cancer Institute**. 95 : 21 (November 2003) 1608-1615.

COGLIANO, V. J. ; GROSSE, Y. ; BAAN, R. A. – Meeting report : summary of IARC Monographs on formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxy-2-propanol. **Environmental Health Perspectives**. 113 : 9 (September 2005) 1205-1208.

COLLINS, J. J. ; LINEKER, G. A. – A review and meta-analysis of formaldehyde exposure and leukemia. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 40 : 2 (October 2004) 81-91.

COLLINS, J. J. ; NESS, R. ; TYL, R. W. – A review of adverse pregnancy outcomes and formaldehyde exposure in human and animal studies. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 34 : 1 (August 2001) 17-34.

COMMITTEE ON ALDEHYDE, NATIONAL RESEARCH COUNCIL – Commercial production, properties and uses of aldehydes. In COMMITTEE ON ALDEHYDE, NATIONAL RESEARCH COUNCIL – Formaldehyde and other aldehydes. Washington, DC : National Academy Press, 1981. 20-35.

COSTA, S. ; COELHO, P. ; COSTA, C. – Genotoxic damage in pathology anatomy laboratory workers exposed to formaldehyde. **Toxicology**. 252 : 1-3 (October 2008) 40-48.

COY, J. D. ; BIGELOW, P. L. ; BUCHAN, R. M. – Field evaluation of a portable photoionization detector for assessing exposure to solvent mixtures. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 61 : 2 (March-April 2000) 268-274.

CROSS, H. J. ; FAUX, S. P. – Toxicological basis of hazard identification. In SADHRA, S. S. ; RAMPAL, K. G., ed. lit. – Occupational health : risk assessment and management. London : Blackwell Science, 1999. 41-55.

D'A. HECK, H. ; CHIN, T. Y. ; SCHMITZ, M. C. – Distribution of [14C] formaldehyde in rats after inhalation exposure. In GIBSON, J. E., ed. lit. – Formaldehyde toxicity. Washington DC : Hemisphere, 1983. 26-37.

DANIELLOU, F. – A análise do trabalho : critérios de saúde, critérios de eficácia económica. In CASTILLO, J. J. ; VILLENA, J., ed. lit. – Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005. 233-245.

DECRETO-LEI nº 79/2006. D.R. Iª Série-A. 67 (06-04-04) 2416-2468. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.

DENIS, D. ; ST-VINCENT, M. ; JETTÉ, C. – Les pratiques d'intervention portant sur la prévention des troubles musculo-squelettiques : un bilan critique de la littérature. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2005.

DINGLE, P. ; TAPSELL, P. ; HU, S. – Reducing formaldehyde exposure in office environments using plants. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 64 : 2 (February 2000) 302-308.

DIRECÇÃO-GERAL DA SAÚDE – Lesões músculoesqueléticas relacionadas com o trabalho : guia de orientação para a prevenção. Lisboa : Direcção-Geral da Saúde, 2008.

DIRECTIVA nº 98/24/CE DO CONSELHO. JOCE. L 31 (98.04.07) 11-23 – Relativa à protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição a agentes químicos no trabalho (décima-quarta directiva especial na acepção do nº 1 do artigo 16º da Directiva 89/391/CEE).

DRUMMOND, I. – On-the-fly calibration of direct reading photoionization detectors. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 58 : 11 (1997) 820-822.

DUHAYON, S. ; HOET, P. ; VAN MAELE-FABRY, G. – Carcinogenic potential of formaldehyde in occupational settings : a critical assessment and possible impact on occupational exposure levels. **International Archives of Occupational and Environmental Health**. 81 : 6 (May 2008) 695-710.

ENDO, Y. ; MIYAZAKI, T. ; HILITA, Y. – Sampling methods and residential factors affecting formaldehyde concentration in indoor air. **Tohoku Journal of Experimental Medicine**. 195 : 4 (2001) 227-236.

FARIA, M. H. – A análise do trabalho como instrumento metodológico fundamental em ergonomia. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. 5 : 3-4 (Julho-Dezembro 1987) 55-60.

FARIA, M. H. – A ergonomia em saúde ocupacional : limites e perspectivas. Oeiras : SO – Intervenção em Saúde Ocupacional, 2009.

FENECH, M. ; CHANG, W. P. ; KIRSCH-VOLDERS, M. – HUMN project : detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. **Mutation Research**. 534 : 1-2 (January 2003) 65-75.

FORTIN, M. F. – O processo de investigação : da concepção à realização. Loures : Lusociência, 2003.

GABRIELSEN, P. ; BOSCH, P. - Environmental indicators : typology and use in reporting. [Em linha] European Environment Agency, 2003. Disponível em [http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/core\\_set/library?l=/management\\_documentation/indicator\\_typology/ EN 1.0 &a=d](http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/core_set/library?l=/management_documentation/indicator_typology/ EN 1.0 &a=d)

GARCIA-SAGREDO, J. M. – Fifty years of cytogenetics : a parallel view of the evolution of cytogenetics and genotoxicology. **Biochimica e Biophysica Acta**. 1779 : 6-7 (June-July 2008) 363-375.

GARRIGOU, A. ; BALDI, I. ; DUBUC, P. – Contributos da ergotoxicologia na avaliação da eficácia real dos EPI que devem proteger do risco fitossanitário : da análise da contaminação ao processo colectivo de alerta. **Laboreal**. IV : 1 (2008) 92-103.

GARTE, S. – Individual susceptibility and gene-environment interaction. In: WILD, C. ; VINEIS, P. ; GARTE, S., ed. lit. – Molecular epidemiology of chronic diseases. New York : Wiley, 2008. 243-254.

GHASEMKHANI, M. ; JAHANPEYMA, F. ; AZAM, K. – Formaldehyde exposure in some educational hospitals of Tehran. **Industrial Health**. 43 : 4 (October 2005) 703-707.

GIBSON, G. ; SKETT, P. – Introduction to drug metabolism. 3<sup>rd</sup> ed. London : Nelson Thornes Publishers, 2001.

GILBERT, N. – Proposed residential indoor air quality guidelines for formaldehyde. [Em linha] Health Canada, 2005. Disponível em: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/air/formaldehyde/in-formaldehyde-eng.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/air/formaldehyde/in-formaldehyde-eng.pdf).

GOCHFELD, M. ; BURGER, J. – Environmental and ecological risk assessment. In WALLACE, R. B., ed. lit. – Public health & preventive medicine. 5<sup>th</sup> ed. New York : MacGraw-Hill, 2008. 435-441.

GOLDSTEIN, B. D. – Advances in risk assessment and communication. **Annual Review of Public Health**. 26 (2005) 141-163.

GOLDSTEIN, B. D. ; GREENBERG, M. – Toxicology and environmental health : applications and interventions in public health. In DETELS, R. ; MCEWEN, J. ; BEAGLEHOLE, R., ed. lit. - Oxford textbook of public health. 4<sup>th</sup> ed. New York : Oxford University Press, 2002. 979-1059

GOMES, J. – Poluição atmosférica. Porto : Publindústria, 2001.

GONÇALVES, M. L. – Métodos instrumentais para análise de soluções. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

GONZÁLEZ FERRADÁS, E. – Formaldehído : toxicología e impacto ambiental. Madrid : Fundación MAPFRE, 1986.

GOSELIN, N. H. ; BRUNET, R. C. ; CARRIER, G. – Comparative occupational exposures to formaldehyde released from inhaled wood product dusts versus that in vapour form. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 18 : 5 (May 2003) 384-393.

GOYER, N. – Exposition au formaldéhyde en milieu de travail : la pathologie. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2007.

GOYER, N. ; BEAUDRY, C. ; BÉGIN, D. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : fonderies. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004a.

GOYER, N. ; BEAUDRY, C. ; BÉGIN, D. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : industries de fabrication de formaldéhyde et de résines à base de formaldéhyde. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004b.

GOYER, N. ; BEAUDRY, C. ; BÉGIN, D. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : industries de la fabrication de panneaux agglomérés. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004c.

GOYER, N. ; BEAUDRY, C. ; BÉGIN, D. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : transformation de matières plastiques. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004d.

GOYER, N. ; BÉGIN, D. ; BEAUDRY, C. – Prevention guide : formaldehyde in the workplace. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2006.

GOYER, N. ; BÉGIN, D. ; BOUCHARD, M. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : industrie de finition textile. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004e.

GOYER, N. ; BÉGIN, D. ; BOUCHARD, M. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde : laboratoires de pathologie. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004f.

GRANBY, K. ; CHRISTENSEN, C. S. ; LOHSE, C. – Urban and semi-rural observations of carboxylic acids and carbonyls. **Atmospheric Environment**. 31 : 10 (May 1997) 1403-1415.

GRATT, L. G. – Air toxic risk assessment and management. New York : John Wiley & Sons, 1996.

GREIM, H. ; SNYDER, R. – Toxicology and risk assessment : a comprehensive introduction. Chichester : Wiley, 2008.

GUANG-YONG, L. ; HYE-YOUNG, L. ; HO-SANG, S. – Identification of gene markers for formaldehyde exposure in humans. **Environmental Health Perspectives**. 115 : 10 (October 2007) 1460-1466.

HANSEN, J. ; OLSEN, J. H. – Occupational exposure to formaldehyde and risk of cancer. **Ugeskrift for Laeger**. 158 : 29 (July 1996) 4191-4194.

HARPER, M. – Assessing workplace chemical exposures : the role of exposure monitoring. **Journal of Environmental Monitoring**. 6 (2004) 404-412.

HATAGIMA, A. – Genetic polymorphisms and metabolism of endocrine disruptors in cancer susceptibility. **Cadernos de Saúde Pública**. 18 : 2 (Março-Abril 2002) 357-377.

HAUPTMANN, M. ; LUBIN, J. H. ; STEWART, P. A. – Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries. **Journal of the National Cancer Institute**. 95 : 21 (November 2003) 1615-1623.

HAUPTMANN, M. ; LUBIN, J. H. ; STEWART, P. A. – Mortality from solid cancers among workers in formaldehyde industries. **American Journal of Epidemiology**. 159 : 12 (June 2004) 1117-1130.

HAYES, A. W. – Principles and methods of toxicology. 4<sup>th</sup> ed. New York : Informa Healthcare, 2001.

HAYES, R. B. ; KLEIN, S. ; SURUDA, A. – O<sup>6</sup>-Alkylguanine DNA alkyltransferase activity in student embalmers. **American Journal of Industrial Medicine**. 31 : 3 (March 1997) 361-365.



HE, Z. ; ZHANG, Y. – Risk assessment of exposure to formaldehyde in a medium density fibreboard plant in China. In HEALTHY BUILDINGS, 9<sup>TH</sup> international conference & exhibition, Syracuse, NY, September 13-17, 2009. 361.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE OCCUPATIONAL MEDICINE AND HYGIENE LABORATORY (HSE) – MDHS 70 methods for the determination of hazardous substances : general methods for sampling airborne gases and vapours. London : HSE, 1993.

HECK, H. ; CASANOVA, M. – The implausibility of leukemia induction by formaldehyde : a critical review of the biological evidence on distant-site toxicity. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 40 : 2 (October 2004) 92-106.

HEDBERG, J. – Function, expression and polymorphism of human alcohol dehydrogenase 3/glutathione-dependent formaldehyde dehydrogenase. Stockholm : Karolinska Institutet, 2001. Tese de doutoramento.

HENGSTLER, J. G. ; BOGDANFFY, M. S. ; BOLT, H. M. – Challenging dogma : thresholds for genotoxic carcinogens? The case of vinyl acetate. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**. 43 (2003) 485-520.

HERBER, R. ; DUFFUS, J. H. ; CHRISTENSEN, J. M. – Risk assessment for occupational exposure to chemicals : a review of current methodology. **Pure Applied Chemistry**. 73 : 6 (2001) 993-1031.

HILDESHEIM, A. ; DOSEMECI, M. ; CHAN, C. C. – Occupational exposure to wood, formaldehyde, and solvents and risk of nasopharyngeal carcinoma. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**. 10 : 11 (November 2001) 1145-1153.

HILTON, J. ; DEARMAN, R. J. ; BASKETTER, D. A. – Experimental assessment of the sensitizing properties of formaldehyde. **Food and Chemical Toxicology**. 34 : 6 (June 1996) 571-578.

HIRVONEN, A. – Combination of susceptible genotypes and individual responses to toxicants. **Environmental Health Perspectives**. 105 (1997) 755-758.

HODGSON, A. T. ; BEAL, D. ; McILVAINE, J. E. – Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. **Indoor Air**. 12 : 4 (December 2002) 235-242.

HOET, P. – General principles. In WORLD HEALTH ORGANIZATION – Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. Geneva : WHO, 1996. Cap. 1.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE – Valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses de l'ACGIH aux États-Unis et de la Commission MAK en Allemagne. **Cahiers de Notes Documentaires**. 147 (1992) 195-225.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE – NP 1796 : 2007 : segurança e saúde do trabalho : valores limite de exposição profissional a agentes químicos existentes no ar dos locais de trabalho. Caparica : IPQ, 2007.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE – NP 689 : 2008 : atmosferas de locais de trabalho : guia para a apreciação da exposição por inalação a agentes químicos por comparação com valores limite e estratégia de medição. Caparica : IPQ, 2008a.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE – NP 482 : 2008 : atmosferas dos locais de trabalho : requisitos gerais do desempenho dos procedimentos de medição de agentes químicos. Caparica : IPQ, 2008b.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – Wood dust and formaldehyde. Lyon : IARC, 1995.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – La OMS considera cancerígeno el formaldehído. **Revista Española de Patología**. 38 : 1 (2005) 62-63.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Lyon : IARC, 2006.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – Formaldehyde. [Em linha] Geneva : World Health Organization, 1989. [Consult. 21 Nov. 2007]. Disponível em <http://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm>.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – Formaldehyde : health and safety guide. Geneva : World Health Organization, 1991. [Consult. 21 Nov. 2007]. Disponível em <http://www.incchem.org/documents/hsg/hsg/hsg057.htm>.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – Biomarkers in risk assessment : validity and validation. Geneva : World Health Organization, 2001.

ION SCIENCE – First-check brochure : technical data. [Em linha] ION Science, 2009. Disponível em <http://pdf.directindustry.com/pdf/ion-science/firstcheck-brochure-technical-data/11667-7504.html>

IPCS INCHEM – OECD SIDS : formaldehyde. Paris : UNEP, 2004.

JAKAB, M. G. ; KLUPP, T. ; BESENYEI, K. – Formaldehyde-induced chromosomal aberrations and apoptosis in peripheral blood lymphocytes of personnel working in pathology departments. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**. (2010) [Article in press].

JÄRNSTRÖM, H. - Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings. Helsinki : Edita Prima Oy, 2008. Tese de doutoramento.

JONES, M. L. – How formalin affects the outcome of routine and special stains. **Biotechnic and Histochemistry**. 82 : 3 (2007) 155-159.

KAPITANIAK, B. – L'analyse globale du travail. In PÉNINOU, G. ; MONOD, H. ; KAPITANIAK, B., ed. lit. – Prévention et ergonomie. Paris : Masson, 1994. 39-49.

KAUPPINEN, T. ; TOIKKANEN, J. ; PEDERSEN, D. – Occupational exposure to carcinogens in Portugal in 1990-93 : preliminary results. CAREX (International Information System on Occupational Exposure to Carcinogens. Helsinki : Finnish Institute of Occupational Health, 1998.

KAUPPINEN, T. ; TOIKKANEN, J. ; PEDERSEN, D. – Occupational exposure to carcinogens in the European Union. **Occupational and Environmental Medicine**, 57 : 1 (January 2000) 10-18.

KELADA, S. N. ; EATON, D. L. ; WANG, S. S. – The role of genetic polymorphisms in environmental health. **Environmental Health Perspectives**. 111 : 8 (June 2003) 1055-1064.

KELLY, T. J. ; SMITH, D. L. ; SATOLA, J. – Emission rates of formaldehyde from material and consumer products found in California homes. **Environmental Sciences and Technology**. 33 (1999) 81-88.

KERNS, W. D. ; PAVKOV, K. L. ; DONOFRIO, D. J. – Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure. **Cancer Research**. 43 : 9 (September 1983) 4382-4392.

KIRSCH-VOLDERS, M.; AARDEMA, M. ; ELHAJOUJI, A. – Concepts of threshold in mutagenesis and carcinogenesis. **Mutation Research**. 464 : 1-3 (January 2000) 3-11.

KORKY, J. K. ; SCHWARZ, S. R. ; LUSTIGMAN, B. K. – Formaldehyde concentrations in biology department teaching facilities. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 38 : 5 (May 1987) 907-910.

KROMHOUT, H. – Design of measurement strategies for workplace exposures. **Occupational and Environment Medicine**. 59 : 5 (May 2002) 349-354.

KROMHOUT, H. ; VAN TONGEREN, M. ; BURSTYN, I. – Design of exposure measurement surveys and their statistical analyses. In GARDINER, K. ; HARRINGTON, J. M., ed. lit. – Occupational hygiene. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell Publishing, 2005. 124-144.

LADEIRA, C. ; VIEGAS, S. – XRCC3241 Polymorphism influence on micronuclei frequency in workers occupationally exposed to formaldehyde. In 10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL MUTAGENS, Italy, August 20-25, 2009.

LANGHORST, M. L. – Photoionization detector sensitivity of organic compounds. **Journal of Chromatographic Science**. 19 (February 1981) 98-103.

LAUWERYS, R. ; HOET, P. – Industrial chemical exposure : guidelines for biological monitoring. 3<sup>rd</sup> ed. Boca Raton, FL : Lewis Publishers, 2001.

LEE, S. C. ; GUO, H. ; LI, W. M. – Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. **Atmospheric Environment**. 36 : 12 (2002) 1929-1940.

LEPLAT, J. ; HOC, J. – Tarefa e actividade na análise psicológica de situações. In CASTILLO, J. J. ; VILLENA, J., ed. lit. - Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005. 197-211.

LIDDAMENT, M. W. – A review of ventilation and the quality of ventilation air. **Indoor Air**. 10 : 3 (September 2000) 193-199.

LIN, Y. S. ; KUPPER, L. L. ; RAPPAPORT, S. M. – Air samples versus biomarkers for epidemiology. **Occupational and Environmental Medicine**. 65 : 11 (November 2005) 750-760.

LINOS, A. ; BLAIR, A. ; CANTOR, K. P. – Leukemia and non-Hodgkin's lymphoma among embalmers and funeral directors. **Journal of the National Cancer Institute**. 82 : 1 (January 1990) 66.

LIOY, P. J. – Measurement methods for human exposure analysis. **Environmental Health Perspectives**. 103 : Suppl 3 (April 1995) 35-44.

LUCE, D. ; LECLERC, A. ; BÉGIN, D. – Sinonasal cancer and occupational exposures : a pooled analysis of 12 case-control studies. **Cancer Causes & Control**. 13 : 2 (March 2002) 147-157.

MACEDO, R. – Manual de higiene do trabalho na indústria. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.

MAISON, A. ; PASQUIER, E. – Le point des connaissances sur le formaldéhyde. 3<sup>e</sup> éd. Paris : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles, 2008.

MANINI, P. ; DE PALMA, G. ; MUTTI, A. – Exposure assessment at the work place : implications of biological variability. **Toxicology Letters**. 168 : 3 (February 2007) 210-218.

MAO, C. ; WOSKIE, S. – Formaldehyde use reduction in mortuaries. Lowell, MA : The Toxics Use Reduction Institute, University of Massachusetts Lowell, 1994.

MARSH, G. M. ; STONE, R. A. ; ESMEN, N. A. – Mortality among chemical workers in factory where formaldehyde was used. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**. 53 : 9 (September 1996) 613-627.

MARSH, G. M. ; YOUK, A. O. ; BUCHANICH, J. M. – Pharyngeal cancer mortality among chemical plant workers exposed to formaldehyde. **Toxicology and Industrial Health**. 18 : 6 (July 2002) 257-268.

McGLOTHLIN, J. ; XU, F. ; VOSCIKY, J. – Occupational exposure assessment and control using video exposure monitoring in the pharmaceutical industry. In INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE (IOHA 2005), 6, 19-23 September 2005, Pilanesberg National Park North West Province, South Africa. Pilanesberg : IOHA - International Occupational Hygiene Association, 2005.

McGREGOR, D. ; BOLT, H. ; COGLIANO, V. – Formaldehyde and glutaraldehyde and nasal cytotoxicity : case study within the context of the 2006 IPCS human framework for the analysis of a cancer mode of action for humans. **Critical Reviews in Toxicology**. 36 : 10 (November-December 2006) 821-835.

McLAUGHLIN, J. K. – Formaldehyde and cancer : a critical review. **International Archives of Occupational and Environmental Health**. 66 : 5 (1994) 295-330.

McLEAN, M. D. ; WEBSTER, T. F. – Biomarkers. In WALLACE, R. B., ed. lit. – Public health & preventive medicine. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MEIJSTER, T. ; TIELEMANS, E. ; SCHINKEL, J. – Evaluation of peak exposures in the Dutch flour processing industry : implications for intervention strategies. **The Annals of Occupational Hygiene**. 52 : 7 (October 2008) 587-596.

MERK, O. ; SPEIT, G. – Significance of formaldehyde-induced DNA-protein crosslinks for mutagenesis. **Environmental and Molecular Mutagenesis**. 32 : 3 (1998) 260-268.

MOHAMMED-BRAHIM, B. ; GARRIGOU, A. – Une approche critique du modèle dominant de prévention du risque chimique : l'apport de l'ergotoxicologie. **Activités**. 6 : 1 (avril 2009) 49-67.

MONTICELLO, T. M. ; SWENBERG, J. A. ; GROSS, E. A. – Correlation of regional and nonlinear formaldehyde-induced nasal cancer with proliferating population of cells. **Cancer Research**. 56 : 5 (March 1996) 1012-1022.

MONTMOLLIN, M. – The future of ergonomics : hodge podge or new foundation? **Le Travail Humain**. 55 : 2 (1992) 171-181.

MORAL, R. – Laboratório de anatomia patológica. Madrid : McGraw-Hill, 1993.

MORGAN, K. T. – A brief review of formaldehyde carcinogenesis in relation to rat nasal pathology and human health risk assessment. **Toxicologic Pathology**. 25 : 3 (May-June 1997) 291-307.

MYERS, G. E. – The effects of temperature and humidity on formaldehyde emission from UF-bonded boards : a literature critique. **Forest Products Journal**. 35 : 9 (1985) 20-31.

NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION AND ASSESSMENT SCHEME (NICNAS) – Formaldehyde. Sydney, Australia : NICNAS, 2006.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH) – Formaldehyde : evidence of carcinogenicity. [Em linha] Cincinnati, OH : NIOSH, 1981. [Consult. 17 Jul. 2006]. Disponível em [http://www.cdc.gov/niosh/81111\\_34.html](http://www.cdc.gov/niosh/81111_34.html).

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH) – NIOSH manual of analytical methods : DHHS (NIOSH) Publication 94-113. 4<sup>th</sup> ed. Atlanta, GA : Centers for Disease Control and Prevention, 1994.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) – Frontiers in assessing human exposure to environmental toxicants. Washington, DC : National Academy Press, 1991.

NAYA, M. ; NAKANISHI, J. – Risk assessment of formaldehyde for the general population in Japan. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 43 : 3 (December 2005) 232-248.

NAZAROFF, W. W. – Indoor air chemistry : cleaning agents, ozone and toxic air contaminants. Berkeley, CA : Air Resources Board, California Environmental Protection Agency, 2006.

NORPPA, H. – Cytogenetic biomarkers and genetic polymorphisms. **Toxicology Letters**. 149 : 1-3 (April 2004) 309-334.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. ; LOWSON, D. ; VENABLES, K. M. – Correlation between different measures of exposure in a cohort of bakery workers and flour millers. **The Annals of Occupational Hygiene**. 39 : 3 (June 1995) 291-298.

NUNES, C. ; SOARES, A. – Stochastic environmental research risk assessment. **Ecological Modelling**. 201 : 2 (2007) 118-126.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA) – Sampling strategy and analytical methods for formaldehyde : occupational safety and health standards 1910.1048 App B. [Em linha] Washington, DC : OSHA, 2008. [Consult. 21 Jan. 2008]. Disponível em <http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show>.

ODABASI, M. ; SEYFIOGLU, R. – Phase partitioning of atmospheric formaldehyde in a suburban atmosphere. **Atmospheric Environment**. 39 : 28 (September 2005) 5149-5156.

OHMACHI, K. ; KOMIYAMA, M. ; MATSUNO, Y. – Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory. **Environmental Science and Pollution Research International**. 13 : 2 (March 2006) 120-124.

ONG, C. N. – Reference values and action levels of biological monitoring in occupational exposure. **Toxicology Letters**. 108 : 2-3 (September 1999) 127-135.

ORSIÈRE, T. ; SARI-MINODIER, I. ; IARMARCOVAI, G. – Genotoxic risk assessment of pathology and anatomy laboratory workers exposed to formaldehyde by use of personal air sampling and analysis of DNA damage in peripheral lymphocytes. **Mutation Research**. 605 : 1-2 (June 2006) 30-41.

OTT, M. G. ; KLEES, J. E. ; POCHE, S. L. – Respiratory health surveillance in a toluene diisocyanate production unit, 1967-97 : clinical observations and lung function analyses. **Occupational and Environmental Medicine**. 57 : 1 (January 2000) 43-52.

PABST, R. – Exposure to formaldehyde in anatomy : an occupational health hazard? **The Anatomical Record**. 219 : 2 (1987) 109-112.

PARDO MINDÁN, F. J. – Anatomia patológica. Madrid : Harcourt, 2000.

PARK, J. S. ; IKEDA, S. – Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes. **Indoor Air**. 16 : 2 (April 2006) 129-135.

PARTANEN, T. ; KAUPPINEN, T. ; LUUKKONEN, R. – Malignant lymphomas and leukemias, and exposures in the wood industry : an industry-based case-referent study. **International Archives of Occupational and Environmental Health**. 64 : 8 (1993) 593-596.

PERRAULT, G. ; GOYER, N. ; HÉBERT, F. – Étude préliminaire sur l'évaluation de l'impact d'un abaissement des valeurs d'exposition admissibles pour le formaldéhyde. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2000.

PILIDIS, G. A. ; KARAKITSIOS, S. P. ; KASSOMENOS, P. A. – Measurements of benzene and formaldehyde in a medium sized urban environment : indoor/outdoor health risk implications on special populations groups. **Environmental Monitoring and Assessment**. 150 : 1-4 (March 2009) 285-294.

PINKERTON, L. E. ; HEIN, M. J. ; STAYNER, L. T. – Mortality among a cohort of garment workers exposed to formaldehyde : an update. **Occupational and Environmental Medicine**. 61 : 3 (March 2004) 193-200.

POIROT, P. ; SUBRA, I. ; GÉRARDIN, F. – Determination of short-term exposure with a direct reading photoionization detector. **The Annals of Occupational Hygiene**. 48 : 1 (January 2004) 75-84.

PRELLER, L. ; BURSTYN, I. ; De PATER, N. – Characteristics of peaks of inhalation exposure to organic solvents. **The Annals of Occupational Hygiene**. 48 : 7 (October 2004) 643-652.

PRENTÖ, P. ; LYON, H. – Commercial formalin substitutes for histopathology. **Biotechnic & Histochemistry**. 72 : 5 (September 1997) 273-282.

PRISTA, J. – Métodos ergonómicos de análise do trabalho. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. 5 : 3-4 (Julho-Dezembro 1987) 61-66.

PRISTA, J. – Exposição profissional a chumbo : utilização da protoporfirina-zinco (PPZ) na vigilância da saúde dos trabalhadores expostos. Lisboa : Escola Nacional de Saúde Pública, Universidade Nova de Lisboa, 2002. Tese de doutoramento.

PRISTA, J. ; UVA, A. S. – Toxicologia para médicos de trabalho. Lisboa : Escola Nacional de Saúde Pública, 2002.



PRISTA, J. ; UVA, A. S. – Exposição profissional a agentes químicos : os indicadores biológicos na vigilância de saúde dos trabalhadores. **Saúde & Trabalho**. 4 (2003) 5-12.

PRISTA, J. ; UVA, A. S. – A utilização de indicadores biológicos em saúde ocupacional. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. 6 (2006) 45-54.

PROCEEDINGS OF THE ECETOC-EEMS Symposium on dose-response and threshold-mediated mechanisms in mutagenesis, Salzburg, Austria, September 7 1998. **Mutation Research**. 464 : 1 (January 2000) 1-158.

PYATT, D. ; NATELSON, E. ; GOLDEN, R. – Is inhalation exposure to formaldehyde a biologically plausible cause of lymphohematopoietic malignancies? **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 51 : 1 (June 2008) 119-133.

RABARDEL, P. ; CARLIN, N. ; CHESNAIS, M. – Ergonomie: concepts et méthodes. Toulouse : Octarès, 1998.

RAAFAT, H. ; SADHRA, S. S. – Risk characterization. In SADHRA, S. S. ; RAMPAL, K. G., ed. lit. – Occupational health : risk assessment and management. London : Wiley Blackwell, 1999. 177-193.

RAMACHANDRAN, G. – Toward better exposure assessment strategies : the new NIOSH initiative. **The Annals of Occupational Hygiene**. 52 : 5 (2008) 297-301.

READ, D. - Assessment of effects of hazardous substances and new organisms on human health. Auckland : Environmental and Risk Management Authority, 2000.

RICHARDS, R. ; DUPONT, D. ; LARIVIÈRE, P. – Formaldéhyde : guide de prévention. Montréal : Association pour la Santé et la Sécurité du Travail, Secteur des Affaires Sociales, 1990.

RODRICKS, J. V. ; RUDENKO, L. ; STARR, T. B. – Risk assessment. In SIPES, I. G., MCQUEEN, C. A. ; GANDOLFI, A. J., ed. lit. – Comprehensive toxicology. Volume I. Arizona : Pergamon, 1997. 315-326.

ROSÉN, G. ; ANDERSSON, I. M. ; WALSH, P. T. – A review of video exposure monitoring as an occupational hygiene tool. **The Annals of Occupational Hygiene**. 49 : 3 (April 2005) 201-217.

ROUSCH, G. C. ; WALRATH, J. ; STAYNER, L. T. – Nasopharyngeal cancer, sinonasal cancer, and occupations related to formaldehyde : a case-control study. **Journal of the National Cancer Institute**. 79 : 6 (December 1987) 1221-1224.

RYAN, P. B. ; BURKE, T. A. ; COHEN-HUBAL, E. A. – Using biomarkers to inform cumulative risk assessment. **Environmental Health Perspectives**. 115 : 5 (May 2007) 833-840.

RYAN, T. J. ; BURROUGHS, G. E. ; TAYLOR, K. – Video exposure assessments demonstrate excessive laboratory formaldehyde exposures. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 18 : 6 (June 2003) 450-457.

SACCHAROMYCES GENOME DATABASE – S. cerevisiae pathway : formaldehyde oxidation II (glutathione-dependent). [Em linha] SRI International. [Consult. 22 Out. 2007]. Disponível em <http://pathway.yeastgenome.org:8555/YEAST/NEWIMAGE?type=PATHWAY&object=PWY-1801>.

SADHRA, S. S. – Principles of risk assessment. In GARDINER, K. ; HARRINGTON, J. M. – Occupational hygiene. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford : Blackwell Publishing, 2005. 105-123.

SADHRA, S. S. ; GARDINER, K. – Requirements of monitoring exposure to workplace contaminants. In SADHRA, S. S. ; RAMPAL, K. G., ed. lit. – Occupational health : risk assessment and management. London : Blackwell Science, 1999. 129-158.

SALAMONE, J. C. – Polymeric materials encyclopaedia. New York : Academic Press, 1996.

SARDAS, S. – Genotoxicity tests and their use in occupational toxicology as biomarkers. **Indoor and Built Environment**. 14 : 6 (2005) 521-525.

SAUDER, L. R. ; CHATHAM, M, D. ; GREEN, D. J. – Acute pulmonary response to formaldehyde exposure in healthy nonsmokers. **Journal of Occupational Medicine**. 28 : 6 (June 1986) 420-424.

SCHLINK, U. ; REHWAGEN, M. ; DAMM, M. – Seasonal cycle of indoor-VOCs : comparison of apartments and cities. **Atmospheric Environment**. 38 : 8 (2004) 1181-1190.

SEMPLE, S. – Assessing occupational and environmental exposure. **Occupational Medicine**. 55 : 6 (2005) 419-424.

SERRANHEIRA, F. ; UVA, A. S. ; ESPÍRITO-SANTO, J. – Estratégia de avaliação do risco de lesões músculo-esqueléticas de membros superiores ligadas ao trabalho aplicada na indústria de abate e desmancha de carne em Portugal. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. 34 : 119 (2009) 58-66.

SERRANHEIRA, F. ; UVA, A. S. ; LOPES, F. – Lesões músculo-esqueléticas e trabalho : alguns métodos de avaliação do risco. Lisboa : Sociedade Portuguesa de Medicina do Trabalho, 2008.

SERRANO, P. – Redacção e apresentação de trabalhos científicos. Lisboa : Relógio d'Água, 1996.

SHAHAM, J. ; BOMSTEIN, Y. ; GURVICH, R. – DNA-protein crosslinks and p53 protein expression in relation to occupational exposure to formaldehyde. **Occupational and Environmental Health**. 60 : 6 (June 2003) 403-409.

SHAHAM, J. ; BOMSTEIN, Y. ; MELZER, A. – DNA-protein crosslinks and sister chromatid exchanges as biomarkers of exposure to formaldehyde. **International Journal of Occupational and Environmental Health**. 3 : 2 (April 1997) 95-104.

SHAHAM, J. ; GURVICH, R. ; KAUFMAN, Z. – Sister chromatid exchange in pathology staff occupationally exposed to formaldehyde. **Mutation Research**. 514 : 1-2 (February 2002) 115-123.

SMITH, T. – Studying peak exposure : toxicology and exposure statistics. In: MARKLUND, S., ed. lit. – Exposure assessment in epidemiology and practice. Stockholm : National Institute for Working Life, 2001. 207-209.

SMITH, C. M. ; CHRISTIANI, D. C. ; KELSEY, K. T. – Chemical risk assessment and occupational health : current applications, limitations, and future prospects. Westport : Praeger, 1994.

SOHN, J. R. ; KWAK, H. C. ; KIM, S. H. – Characteristic of TVOC and HCHO emission from the electric home appliances using stainless steel test chamber system. In HEALTHY BUILDINGS, 9<sup>th</sup> international conference & exhibition, Syracuse, NY, September 13-17, 2009. 567

SOLAL, C. ; ROUSSELLE, C. ; MANDIN, C. – VOCs and formaldehyde emissions from cleaning products and air fresheners. In 11<sup>th</sup> INDOOR AIR 2008, Copenhagen, Denmark, August 17-22, 2008. 183.

SPEIT, G. ; SCHMID, O. – Local genotoxic effects of formaldehyde in humans measured by the micronucleus test with exfoliated epithelial cells. **Mutation Research**. 613 : 1 (2006) 1-9.

SPEIT, G. ; SCHMID, O. ; FRÖHLER-KELLER, M. – Assessment of local genotoxic effects of formaldehyde in humans measured by the micronucleus test with exfoliated buccal mucosa cells. **Mutation Research**. 627 : 2 (March 2007) 129-135.

STEWART, P. ; STENZEL, M. – Exposure assessment in the occupational setting. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 15 : 5 (May 2000) 435-444.

SURUDA, A. ; SCHULTE, P. ; BOENIGER, M. – Cytogenetic effects of formaldehyde exposure in students of mortuary science. **Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention**. 2 : 5 (September-October 1993) 435-460.

SUSI, P. ; SCHNEIDER, S. – Database needs for a task-based exposure assessment model for construction. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 10 : 4 (1995) 394-399.

SWENBERG, J. A. ; KERNS, D. W. ; MITCHELL, R. I. – Induction of squamous cell carcinomas of the rat nasal cavity by inhalation exposure to formaldehyde vapour. **Cancer Research**. 40 (1980) 3398-3402.

TARDIF, R. ; CHAREST-TARDIF, G. ; TRUCHON, G. – Influence de la charge de travail sur les indicateurs biologiques d'exposition de cinq solvants. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2008.

TASKINEN, H. K. ; KYRÖNEN, P. ; SALLMÉN, M. – Reduced fertility among female wood workers exposed to formaldehyde. **American Journal of Industrial Medicine**. 36 : 1 (July 1999) 206-212.

THRASHER, J. D. ; KILBURN, K. H. – Embryo toxicity and teratogenicity of formaldehyde. **Archives of Environmental Health**. 56 : 4 (July-August 2001) 300-311.

TITFORD, M. – The long history of hematoxylin. **Biotechnic and Histochemistry**. 80 : 2 (March-April 2005) 73-78.

TITFORD, M. E. ; HORENSTEIN, M. G. – Histomorphologic assessment of formalin substitute fixatives diagnostic surgical pathology. **Archives of Pathology and Laboratory Medicine**. 129 : 4 (April 2005) 502-506.

TRUCHON, G. – Guide de surveillance biologique : prélèvement et interprétation des résultats. 6e éd. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004.

UNIVERSITY OF QUEENSLAND – Occupational health and safety risk assessment and management guideline. [Em linha] University of Queensland, 2005 [Consult. 27 Out. 2009]. Disponível em <http://www.uq.edu.au/hupp/?page=25024&pid=25015>.

U. S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES – Toxicological profile of formaldehyde. Atlanta, GA : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – Guidelines for exposure assessment. Risk Assessment Forum. Washington, DC : U. S. EPA, 1992.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – Formaldehyde : hazard summary. [Em linha] Washington, DC : U. S. EPA, 2003 [Consult. 16 Dez. 2007]. Disponível em <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/formalde.html>.

UVA, A. S. – Diagnóstico e gestão do risco em saúde ocupacional. Lisboa : IDICT, 2006.

UVA, A. S. ; FARIA, M. – Exposição profissional a substâncias químicas : diagnóstico das situações de risco. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**. 18 : 1 (Janeiro-Junho 2000) 5-10.

VÄHÄKANGAS, K. – Molecular epidemiology and ethics : biomarkers for disease susceptibility. In: WILD, C. ; VINEIS, P. ; GARTE, S., ed. lit. – Molecular epidemiology of chronic diseases. New York : Wiley, 2008. 281-297.

VAN LEEUWEN, C. J. ; VERMEIRE, T. ; VERMEIRE, T. G. – Risk assessment of chemicals : an introduction. 2<sup>nd</sup> edition. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2007.

VAN NETTEN, C. ; SHIRTLIFFE, C. ; SVEC, J. – Formaldehyde release characteristics from a Swedish floor finish. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 40 : 5 (May 1988) 672-677.

VAN NETTEN, C. ; SHIRTLIFFE, C. ; SVEC, J. – Temperature and humidity dependence of formaldehyde release from selected building materials. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 42 : 4 (April 1989) 558-565.

VAN VEEN, M. P. ; FORTEZZA, F. ; BLOEMEN, H. J. – Indoor air exposure to volatile compounds emitted by paints : experiment and model. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**. 9 : 6 (November-December 1999) 569-574.

VARGOVÁ, M. ; WAGNEROVÁ, J. ; LISKOVÁ, A. – Subacute immunotoxicity study of formaldehyde in male rats. **Drug and Chemical Toxicology**. 16 : 3 (1993) 255-275.

VAUGHAN, T. L. ; STEWART, P. A. ; TESCHKE, K. – Occupational exposure to formaldehyde and wood dust and nasopharyngeal carcinoma. **Occupational and Environmental Medicine**. 57 : 6 (June 2000) 376-384.

VAUGHT, C. – Locating and estimating air emissions from sources of formaldehyde (revised). [Em linha] Washington, DC : U. S. Environmental Protection Agency, 1991 [Consult. 2 Dez. 2008]. Disponível em <http://www.epa.gov/ttn/chief/le/formal.pdf>.

VIEGAS, S. ; LADEIRA, C. ; VACAS, J. – Environmental and Biological Monitoring in Occupational Exposure to Formaldehyde. In XVI NATIONAL CONGRESS OF BIOCHEMISTRY, Ponta Delgada, 22-25 October, 2008.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Formaldehyde in Portuguese new dwellings. In INDOOR AIR 2008, Copenhagen, Denmark, 17-22 August 2008. 1088.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Estudo da exposição ocupacional a formaldeído num laboratório de anatomia patológica : relevância da aplicação de uma metodologia (PID) de monitorização ambiental. **Revista Saúde e Trabalho**. 7 (2009a) 31-45.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Exposição profissional a formaldeído : que realidade em Portugal? **Saúde & Tecnologia**. 4 (2009b). [Em vias de publicação]

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Avaliação do risco de cancro nasofaríngeo : o caso da exposição profissional a formaldeído em laboratórios de anatomia patológica. In COLÓQUIO INTERNACIONAL DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS, Guimarães, Portugal, 11 e 12 de Fevereiro, 2010a.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Formaldehyde in indoor air : a public health problem? In AIR POLLUTION 2010. WIT Transactions on Biomedicine and Health. Southampton : Transactions of the Wessex Institute, 2010b.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Aspects to consider for selection of chemical risk assessment methodology : the case of formaldehyde occupational exposure. In ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY 2010. WIT Transactions on Biomedicine and Health. Southampton : Transactions of the Wessex Institute, 2010c.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. ; GOMES, M. – Exposição profissional a formaldeído : estudo de caso. In COLÓQUIO INTERNACIONAL DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS, Guimarães, Portugal, 7 e 8 de Fevereiro, 2008.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. ; GOMES, M. – Exposição ocupacional ao formaldeído em laboratórios de anatomia patológica : quantificação da exposição com diferentes

metodologias de avaliação. In COLÓQUIO INTERNACIONAL DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS, Guimarães, Portugal, 5 e 6 de Fevereiro, 2009a.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. ; GOMES, M. – Exposure assessment : the influence of environmental monitoring methodology. In BREBBIA, C. A., ed. lit. – Environmental health risk. Transactions of the Wessex Institute Press, 2009b.

VINCENT, R. ; JEANDEL, B. – Exposition professionnelle au formaldéhyde en France : informations fournies par la base de données Colchic. **Hygiène et sécurité du travail**. 203 (June 2006) 19-33.

VON SCHULTE, H. ; BERNAUER, U. ; MADLE, S. – Assessment of the carcinogenicity of formaldehyde (CAS No. 50-00-00). Berlim : Bundesinstitut fur Risikobewertun, 2006.

VYSKOCIL, A. ; THUOT, R. ; TURCOT, A. – Peak exposures to styrene in Quebec fibreglass reinforced plastic industry. In: MARKLUND, S., ed. lit. – Exposure assessment in epidemiology and practice. Stockholm : National Institute for Working Life, 2001. 316-318.

WALSH, P. T. ; FORTH, A. H. ; CLARK, R. D. – Real-time measurement of dust in the workplace using video exposure monitoring : farming to pharmaceuticals. **Journal of Physics : conference series**. 151 : 1 (2009) 012043.

WANG, R. S. ; NAKAJIMA, T. ; KAWAMOTO, T. – Effects of aldehyde dehydrogenase-2 genetic polymorphisms on metabolism of structurally different aldehydes in human liver. **Drug Metabolism and Disposition**. 30 : 1 (January 2002) 69-73.

WATSON, W. P. ; MUTTI, A. – Role of biomarkers in monitoring exposures to chemicals : present position, future prospects. **Biomarkers**. 9 : 3 (May-June 2004) 211-242.

WEGMAN, D. ; EISEN, E. – Measuring exposure for the epidemiologic study of acute effects. **American Journal of Industrial Medicine**. 21 (1992) 77-89.

WEIS, B. K. ; BALSHAW, D. ; BARR, J. R. – Personalized exposure assessment : promising approaches for human environmental health research. **Environmental Health Perspectives**. 113 : 7 (July 2005) 840-848.

WEST, S. ; HILDESHEIM, A. ; DOSEMECI, M. – Non-viral risk factors for nasopharyngeal carcinoma in the Philippines : Results from a case-control study. **International Journal of Cancer**. 55 : 5 (November 1993) 722-727.

WILD, C. ; VINEIS, P. ; GARTE, S. – Molecular epidemiology of chronic diseases. New York : John Wiley & Sons, 2008.

WILD, C. P. – Complementing the genome with an 'Exposome' : the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. **Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention**. 14 : 8 (August 2005) 1847-1850.

WILSON, S. M. ; GLEINSTEN, M. P. ; DONOHUE, T. J. – Identification of proteins involved in formaldehyde metabolism by *Rhodobacter sphaeroides*. **Microbiology**. 154 : Pt 1 (January 2008) 296-305.

WISNER, A. – A metodologia em ergonomia : de ontem a hoje. In CASTILLO J. J. ; VILLENA, J, ed. lit. – Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005a. 367-386.

WISNER, A. – O diagnóstico em ergonomia ou a escolha de modelos operativos em situação real de trabalho. In CASTILLO J. J. ; VILLENA, J, ed. lit. – Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005b. 113-139.

WITEK, T. J. ; SCHACHTER, E. N. ; TOSUN, T. – An evaluation of respiratory effects following exposure to 2.0 ppm formaldehyde in asthmatics lung function, symptoms, and airway reactivity. **Arch. Environ. Health**. 42 : 4 (July-August 1987) 230-237.

WOLKOFF, P. – Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products. **Atmospheric Environment**. 32 : 14-15 (1998) 2659-2668.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – Air quality guidelines for Europe. 2<sup>nd</sup> ed. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – Formaldehyde : adverse effects (International Programme on Chemical Safety II). Geneva : WHO, 2002.

WOUTERSEN, R. A. ; VAN GARDEREN-HOETMER, A. ; BRUIJNTJES, J. P. – Nasal tumours in rats after severe injury to the nasal mucosa and prolonged exposure to 10 ppm formaldehyde. **Journal of Applied Toxicology**. 9 : 1 (February 1989) 39-46.

WU, P. C. ; LI, Y. Y. ; LEE, C. C. – Risk assessment of formaldehyde in typical office buildings in Taiwan. **Indoor Air**. 13 : 4 (December 2003) 359-363.

WÜNSCH FILHO, V.; ZAGO, M. A. – Modern cancer epidemiological research : genetic polymorphisms and environment. **Revista Saúde Pública**. 39 : 3 (June 2005) 490-497.



YAGER, J. W. ; COHN, K. L. ; SPEAR, R. C. – Sister-chromatid exchanges in lymphocytes of anatomy students exposed to formaldehyde-embalming solution. **Mutation Research**. 174 : 2 (June 1986) 135-9.

YAMATO, H. ; NAKASHIMA, T. ; KIKUTA, A. – A novel local ventilation system to reduce the levels of formaldehyde exposure during a gross anatomy dissection course and its evaluation using real-time monitoring. **Journal of Occupational Health**. 47 : 5 (September 2005) 450-453.

YE, X. ; YAN, W. ; ZHAO, M. – Cytogenetic analysis of nasal mucosa cells and lymphocytes from high-level long-term formaldehyde exposed workers and low-level short-term exposed waiters. **Mutation Research**. 588 : 1 (December 2005) 22-27.

ZAMBELLI – Personal samplers for dust, gas and toxic vapours in working environment. [Em linha] Zambelli, 2010. Disponível em [http://www.zszambelli.com/visualizza\\_scheda\\_tecnica.php?id\\_prodotto=98](http://www.zszambelli.com/visualizza_scheda_tecnica.php?id_prodotto=98)

ZHANG, Y. ; LUO, X. ; WANG, X. – Influence of temperature on formaldehyde emission parameters of dry building materials. **Atmospheric Environment**. 41 : 15 (May 2007) 3203-3216.

ZHANG, L. ; STEINMAUS, C. ; EASTMOND, D. A. – Formaldehyde exposure and leukemia : a new meta-analysis and potential mechanisms. **Mutation Research**. 681 : 2-3 (March-June 2009) 150-168.

ZHANG, L. ; TANG, X. ; ROTHMAN, N. – Occupational exposure to formaldehyde, hematotoxicity, and leukemia-specific chromosome changes in cultured myeloid progenitor cells. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**. 19 : 4 (April 2010) 80-88.

## BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO – Resumo do Relatório Anual, 2007. [Em linha] Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, 2008 [Consult. 29 Jul. 2008]. Disponível em <http://osha.europa.eu>.

AHRENHOLZ, S. H. ; EGILMAN, D. S. – Health hazard evaluation : determination report no. HETA 82-223-1340. Cincinnati, OH : U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, 1983.

AKBAR-KHANZADEH, F. ; PULIDO, E. V. – Using respirators and goggles to control exposure to air pollutants in an anatomy laboratory. **American Journal of Industrial Medicine**. 43 : 3 (March 2003) 326-331.

ALVES, A. – Análises histopatológicas : porque demoram os resultados. In CONGRESSO DE CIÊNCIAS VETERINÁRIAS, SPCV, Oeiras, 10-12 Outubro 2002. 238-247.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ANSI/ASHRAE 55a-1995 : addendum to thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA : ASHRAE STANDARD, 1995.

ANDERSEN, I. ; MOLHAVE, L. - Controlled human studies with formaldehyde. In GIBSON, J. E., ed. lit. – Formaldehyde toxicity. Washington, DC : Hemisphere Publ., 1983. 154-165.

ANGERER, J. ; EWERS, U. ; WILHELM, M. – Human biomonitoring : state of the art. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. 210 : 3-4 (May 2007) 201-228.

ASSOCIAÇÃO TÊXTIL E VESTUÁRIO DE PORTUGAL – Sector Caracterização. [Em linha] ATP, 2008 [Consult. 29 Nov. 2008]. Disponível em <http://www.atp.pt/gca/index.php?id=18>.

BÁEZ, A. P. ; BELMONT, R. ; PADILLA, H. - Measurements of formaldehyde and acetaldehyde in the atmosphere of Mexico City. **Environmental Pollution**. 89 : 2 (1995) 163-167.

BAKER, E. L. ; MATTE, T. P. – Surveillance for occupational hazards and disease. In ROSENSTOCK, L. ; CULLEN, M. R., ed. lit. – Textbook of clinical occupational and environmental medicine. Philadelphia : W.B. Saunders, 1994. 61-67.

BALLANTYNE, B. ; MARS, T. ; SYVERSEN T. – General and applied toxicology. New York : Grove's Dictionaries, 1993.

BELANGER, P. L. ; KILBURN, K. H. - Health hazard : evaluation report no. HETA 81-422-1387. Cincinnati, OH : U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, 1983.

BERNARDINI, P. ; CARELLI, G. ; RIMATORI V. – Health hazard for hospital workers from exposure to formaldehyde. **La Medicina del Lavoro**. 74 : 2 (Marzo-Aprile 1983) 106-110.

BRADLEY, C. – Evaluation of formaldehyde exposure and recommendation for local ventilation in an autopsy room. Montreal : School of Occupational Health, McGill University, 1990.

BREYSSE, P. ; LEES, P. – Air sampling for gases and vapors. New York : Johns Hopkins University, 2006.

BROPHY, J. T. ; KEITH, M. M. ; GOREY, K. M. – Cancer and construction : what occupational histories in a Canadian community reveal. **International Journal of Occupational Environmental Health**. 13 : 1 (January-March 2007) 32-38.

BURGAZ, S. ; CAKMAK, G. ; ERDEM, O. – Micronuclei frequencies in exfoliated nasal mucosa cells from pathology and anatomy laboratory workers exposed to formaldehyde. **Neoplasma**. 48 : 2 (2001) 144-147.

CASTILLO, J. J. ; VILLENA, J. – Ergonomia: conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005.

CHEONG, K. W. ; CHONG, K. Y. – Development and application of an indoor air quality audit to an air-conditioned building in Singapore. **Building and Environment**. 36 : 2 (February 2001) 181-188.

COGLIANO, V. J. ; GROSSE, Y. ; BAAN, R. A. – Summary of IARC monographs on formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-Propanol. Lyon : IARC, 2005.

DAISEY, J. M. ; ANGELL, W. J. ; APTE, M. G. – Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools : an analysis of existing information. **Indoor Air**. 13 : 1 (March 2003) 53-64.

DANIELS, W. J. ; GUNTER, B. – Health Hazard Evaluation Report No. HETA 89-007-1983, St. Thomas More Hospital. Canyon City, CO : U. S. National Institute for Occupational Safety and Health, 1989.

DEJOURS, C. – Construire sa santé. In CASSOU, B. ; LAZAR, PH., ed. lit. – Les risques du travail : pour ne pas perdre sa vie ! La gagner. Paris : La Découverte, 1985. 18-21.

DUMONT, R. ; PIERSOL, P. ; GERBASI, D. – Evaluation of pollutant emissions in new housing. **Proceedings of Indoor Air**. 4 (1999) 113-117.

EUROPEAN COMMISSION – Indoor air pollution by formaldehyde in European countries. [Em linha] Luxembourg : Office for Official Publications in the European Communities, 1990. [Consult. 10 Jul. 2008]. Disponível em [http://www.inive.org/medias/ECA/ECA\\_Report7.pdf](http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report7.pdf).

FERREIRA, M. J. ; MELO, J. L. ; NEVES, A. – Sector do calçado : manual de prevenção. Lisboa : Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho, 2001.

FINLAYSON-PITTS, B. J. ; PITTS JR, J. N. – Atmospheric chemistry : fundamentals and experimental techniques. New York : John Wiley & Sons, 1986.

FISCHHOFF, B. ; BOSTROM, A. ; QUADREL, M. J. – Risk perception and communication. **Annual Review of Public Health**. 14 (1993) 183-203.

FORMALDEHYDE COUNCIL – Building and construction : a myriad of uses. [Em linha] Arlington, VA : Formaldehyde Council, 2007. [Consult. 27 Jul. 2007]. Disponível em <http://www.formaldehyde.org/>

GAUDREAU, S. ; BÉGIN, D. ; GÉRIN, M. – Substitution du formaldéhyde dans les milieux médicaux, paramédicaux et funéraires. In 22e CONGRÈS DE L'AQHSST, Québec, QC, 24-26 mai, 2000. Anjou, QC : Association Québécoise pour l'Hygiène, la Santé et la Sécurité du Travail, 2000. 1-7.

GOYER, N. ; LARIVIÈRE, P. – Guide de prélèvement du formaldéhyde dans l'industrie des placages, contre-plaqués et panneaux agglomérés au Québec. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 1987.

GOYER, N. ; PERRAULT, G. ; BEAUDRY, C. – Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde. Montréal : Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, 2004.

GROSS P. ; RINEHART W. ; DE TREVILLE R. – The pulmonary response to toxic gases. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 28 (1967) 315.

GUARDINO SOLÁ, X. ; HERAS COBO, C. – NTP 672 : extracción localizada en el laboratorio. [Em linha] Madrid : Instituto Nacional de Seguridad y Higiene en el Trabajo, 2005. [Consult. 8 Jul. 2008]. Disponível em [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_672.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_672.htm).

HEIKKILÄ, P. ; PRIHA, E. ; SVELA, A. – Formaldehyde. Helsinki : Finnish Institute of Occupational Health and Finnish Work Environmental Health, 1991.

HER, C. – Nasopharyngeal cancer and Southeast Asian patient. **Journal of American Family Physician**. 63 : 9 (May 2001) 1776-1782.

HERAS COBO, C. – NTP 248 : formaldehído : su control en laboratorios de anatomía y anatomía patológica. [Em linha] Madrid : Instituto Nacional de Seguridad y Higiene en el Trabajo, 1989. [Consult. 8 Jul. 2008]. Disponível em [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_248.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_248.htm).

HERAS COBO, C. ; GUARDINO SOLÁ, X. – NTP 373 : la ventilación general en el laboratorio. [Em linha] Madrid : Instituto Nacional de Seguridad y Higiene en el Trabajo, 1995. [Consult. 8 Jul. 2008]. Disponível em [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_373.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_373.htm).

HINWOOD, A. L. ; BERKO, H. N. ; FARRAR, D. – Volatile organic compounds in selected micro-environments. **Chemosphere**. 63 : 3 (April 2006) 421-429.

HOLMSTROM, M. ; LUND, V. J. – Malignant melanomas of the nasal cavity after occupational exposure to formaldehyde. **British Journal of Industrial Medicine**. 48 : 1 (January 1991) 9-11.

HORVARTH, E. P. ; ANDERSON JR, H. ; PIERCE, W. E. – Effects of formaldehyde on the mucous membranes and lungs. **JAMA**. 259 : 5 (February 1988) 701-707.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION – Guidelines on occupational safety and health managements systems. Geneva : International Labour Organization, 2001.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – Human exposure assessment : concepts and principles. Geneva : World Health Organization, 1993.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY – Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals. Geneva : World Health Organization, 1999.

JAKUBOWSKI, M. ; TRZCINKA-OCHOCKA, M. – Biological monitoring of exposure : trends and key developments. **Journal of Occupational Health**. 47 : 1 (2005) 22-48.

JEONG, J. Y. ; PAIK, N. W. – Laboratory and field validation of the GC-NPD method for the measurement of formaldehyde in workplace. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**. 2 : 4 (April 2005) 244-250.

KILBURN, K. H. ; SEIDMAN, B. C. ; WARSHAW, R. – Neurobehavioral and respiratory symptoms of formaldehyde and xylene exposure in histology technicians. **Archives of Environmental Health**. 40 : 4 (July-August 1985) 229-233.

KODA, S. ; KUMAGAI, S. ; OHARA, H. – Environmental monitoring and assessment of short-term exposures to hazardous chemicals of a sterilization process in hospital working environments. **Acta Medica of Okayama**. 53 : 5 (1999) 217-223.

KOW, D. ; AW, T. C. – Surveillance in occupational health. **Occupational and Environmental Medicine**. 60 : 9 (September 2003) 705-710.

KULLE, T. J. ; SAUDER, L. R. ; HEBEL, J. R. – Formaldehyde dose-response in healthy nonsmokers. **Journal of the Air Pollution Control Association**. 37 (1987) 919-924.

LADEIRA, C. - Biomarcadores genotóxicos e polimorfismos genéticos em trabalhadores expostos a formaldeído. Lisboa : Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2009. Dissertação de mestrado.

LEHMANN, W. F. ; ROFFAEL, E. – International guidelines and regulations for formaldehyde emissions. In 26<sup>th</sup> INTERNATIONAL PARTICLEBOARD/COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, Washington State University. Pullman, WA : Washington State University, 1992.

LEPLAT, J. ; CUNY, X. – As condições de trabalho. In CASTILLO, J. J. ; VILLENA, J., ed. lit. – Ergonomia : conceitos e métodos. Lisboa : Dinalivro, 2005. 197-211.

LITEPLO, R. G. ; BEAUCHAMP, R. ; MEEK, M. E. – Formaldehyde : concise international chemical assessment document 40. [Em linha] Geneva : World Health Organization, 2002. [Consult. 21 Nov. 2007]. Disponível em <http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/a73769.pdf>.

MALAKA, T. M. ; KODAMA, A. M. – Respiratory health of plywood workers occupationally exposed to formaldehyde. – **Archives of Environmental Health**. 45 : 5 (1990) 288-294.

MELVILLE, R. ; LIPPMANN, M. – Influence of data elements in OSHA air sampling database on occupational exposure levels. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 16 : 9 (September 2001) 884-899.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE – Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de

culture homologués en France. [Em linha] Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2007. [Consult. 27 Jul. 2007]. Disponível em <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>

MIRANDA, A. C. – Incidência, sobrevivência e mortalidade do cancro na região Sul de Portugal : ISM – 2000-2001. Lisboa : Instituto Português de Oncologia de Lisboa Francisco Gentil, 2007.

MORET DE ARCÍA, O. J. – Contribución al estudio de los efectos tóxicos del formaldehído. Mérida : Universidad de Los Andes; 1990. Tese de doutoramento.

NATIONAL ENVIRONMENT PROTECTION COUNCIL (NEPC) – National Environment Protection (Air Toxics) Measure (NEPM). [Em linha]. [Consult. 10 Jul. 2008]. Disponível em [http://www.ephc.gov.au/pdf/Air\\_Toxics/FinalAirToxicsNEPM.pdf](http://www.ephc.gov.au/pdf/Air_Toxics/FinalAirToxicsNEPM.pdf).

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH) – Formaldehyde : method 2541 (issue 2). 4<sup>th</sup> ed. [Em linha] Cincinnati, OH : NIOSH, 1994. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2541.pdf>

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH) – Formaldehyde : method 3500 (issue 2). 4<sup>th</sup> ed. [Em linha] Cincinnati, OH : NIOSH, 1994. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/3500.pdf>

NEBRASKA DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES – Formaldehyde. [Em linha] Lincoln, NK : NDHHS, 2007. [Consult. 10 Jul. 2008]. Disponível em <http://www.hhs.state.ne.us/puh/enh/iaqforma.htm>.

NORDMAN, H. ; KESKINEN, H. ; TUPPURAINEN, M. – Formaldehyde asthma : rare or overlooked? **Journal of Allergy and Clinical Immunology**. 75 : 1 Pt 1 (January 1985) 91-99.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM (NTP) – Formaldehyde (Gas) CAS no. 50-00-0, 2005 : report on carcinogens. 11<sup>th</sup> ed. [Em linha] Washington, DC : National Institutes of Health, 2005. Disponível em <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/eleventh/profiles/s089form.pdf>.

OLIVER, L. C. ; SHACKLETON, B. W. – The indoor air we breathe. **Public Health Reports**. 113 : 5 (September-October 1998) 398-409.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) – Programas nacionales de control del cáncer : políticas y pautas para la gestión. 2ª ed. Washington, D.C. : OMS, 2004.

PAUSTENBACH, D. ; ALARIE, Y. ; KULLE, T. – A recommended occupational exposure limit for formaldehyde based on irritation. **Journal of Toxicology and Environmental Health**. 50 : 3 (February 1997) 217-263.

PRYOR, P. – Health Hazard Evaluation Report No. HETA 83-076-1414, Saint Josephs Hospital, Denver, Colorado. Cincinnati, OH : U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, 1984.

REPONEN, T. ; RAUNEMAA, T. ; SAVOLAINEN, T. – The effect of material ageing and season on formaldehyde levels in different ventilation systems. **Environment International**. 17 : 4 (1991) 349-355.

RITTER, L. ; ARBUCKLE, T. E. – Can exposure characterization explain concurrence or discordance between toxicology and epidemiology? **Toxicological Sciences**. 97 : 2 (June 2007) 241-252.

SALISBURY, S. – Health hazard evaluation report, Heta 81-002-875. Cincinnati, OH : U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, 1981.

SERRANHEIRA, F. – Da saúde e segurança do trabalho à saúde e segurança dos trabalhadores : um (ainda) longo caminho a percorrer (2ª parte). **Revista Segurança**. XLIV : 189 (2009) 18-23.

SILVA, I. S. – Cancer epidemiology : principles and methods. Lyon : International Agency for Research on Cancer, 1999.

SOFFRITTI, M. ; MALTONI, C. ; MAFFEI, F. – Formaldehyde: an experimental multipotential carcinogen. **Toxicology and Industrial Health**. 5 : 5 (October 1989) 699-730.

SPENGLER, J. D. ; SEXTON, K. – Indoor air pollution : a public health perspective. **Science**. 221 : 4605 (July 1983) 9-17.

SPURGEON, A. – Risk perception. In SADHRA, S. S. ; RAMPAL, K. G., ed. lit. – Occupational health : risk assessment and management. London : Blackwell Science, 1999. 266-277.

STEWART, P. A. ; CUBIT, D. ; BLAIR, A. – Formaldehyde levels in seven industries. **Applied Industrial Hygiene**. 2 (1987) 231-236.



STEWART, P. A. ; HERRICK, R. F. ; FEIGLEY, C. F. – Study design for assessing exposures of embalmers for a case-control study. Part I : monitoring results. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**. 7 : 8 (1992) 532-540.

TRIEBIG, G. ; SCHALLER, K. H. ; BEYER, B. – Formaldehyde exposure at various workplaces. **Science of the Total Environment**. 79 : 2 (March 1989) 191-195.

UVA, A. S. – Some epidemiological aspects on evaluation of occupational cancer risk factors. In WORKSHOP ON METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURES IN THE CONTEXT OF EPIDEMIOLOGICAL DETECTION OF CANCER RISKS. Paris, 18 and 19 February 1988 – Proceedings. Paris : Directorate-General Science, Research and Development. Commission of the European Commission, 1988.

UVA, A. S. – A prevenção dos riscos profissionais em medicina do trabalho. In 1º CONGRESSO NACIONAL DE SAÚDE OCUPACIONAL, Póvoa do Varzim, 6 a 9 de Outubro de 1996 – Proceedings. Póvoa do Varzim : Faculdade de Medicina do Porto, 1996. 45-47.

UVA, A. S. ; GRAÇA, L. – Saúde e segurança do trabalho : glossário. Lisboa : Sociedade Portuguesa de Medicina do Trabalho, 2004.

VIEGAS, S. ; LADEIRA, C. ; VACAS, J. – A proposal methodology to cancer risk assessment to formaldehyde occupational exposure : the case of formaldehyde occupational exposure. In 11<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL MUTAGENS, Florence, Italy, 20-25 August, 2009.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. – Cancro nasofaríngeo e exposição a formaldeído : avaliação da história profissional em 63 casos registados. **Revista Saúde e Trabalho**. 6 (2007) 13-23.

VIEGAS, S. ; PRISTA, J. ; GOMES, M. – Exposição profissional a formaldeído : estudo de caso. In COLÓQUIO INTERNACIONAL DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS, Guimarães, Portugal, 7 e 8 de Fevereiro, 2008.

WISNER, A. – La méthodologie en ergonomie : d'hier à aujourd'hui. **Performances Humaines et Techniques**. 50 (1991) 32-39.

WU, G. ; FANG, Y. Z. ; YANG, S. – Glutathione metabolism and its implications for health. **The Journal of Nutrition**. 134 : 3 (March 2004) 489-492.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE I**  
**Grelha de Observação**

<b>GRELHA DE OBSERVAÇÃO E REGISTO</b>			
<b>Data</b> ____/____/____	<b>Hora</b> ____:____	<b>Elemento responsável do laboratório</b> _____	
<b>1 - Identificação da Unidade Hospitalar</b>			
<b>Nome:</b> _____ <b>Data de realização das medições:</b> ____/____/____			
<b>2 - Condições de Ventilação</b>			
<b>Condições de ventilação</b>	<b>NA</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
Sala de entradas separada fisicamente			
Existência de janelas			
Existência de insuflação mecanizada			
Existência de exaustão mecanizada			
Existência de climatização			
Bancada de exame macroscópico com exaustão localizada			
Lavagem das peças em bancada com exaustão localizada			
Bancada de adição de formol com exaustão localizada			
<b>2.1</b> Temperatura ambiente: _____ Humidade Relativa: _____			
<b>2.2</b> Observações (condições de uso dos dispositivos de ventilação): _____ _____			
<b>3 - Número médio de peças processadas por dia: _____</b>			
<b>3.1</b> Tipologia de peças mais frequentemente analisadas: _____			
<b>3.2</b> Peças analisadas no momento das medições: _____ _____			
<b>4 - Solução de Formaldeído utilizada:</b>			
_____ _____			

**APÊNDICE II**  
**Valores de CM corrigidos**

Apêndice II – Valores de CM corrigidos

Quadro I.I Resultados para o LabA da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
4,93	3,09
5,09	3,19
4,01	2,44
0,41	0,35
0,53	0,42
0,79	0,58
0,57	0,45
0,41	0,35
0,40	0,34
0,97	0,69
2,08	1,36
1,00	0,71
0,73	0,55
0,62	1,22
1,10	0,75
1,40	0,85
0,47	0,38
1,38	0,94
3,96	2,51
1,58	1,05

Quadro I.II Resultados para o LabB da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
4,23	2,67
3,02	1,93
4,30	2,71
3,89	3,36
2,30	1,49
3,99	2,52
3,19	2,04
3,77	2,39
3,41	2,07
3,33	2,12
2,42	1,55
2,51	1,62
4,02	2,54
3,15	2,01
3,37	2,14
0,86	0,62
2,98	1,91

Apêndice II – Valores de CM corrigidos

Quadro I.III Resultados para o LabC da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
0,71	0,53
2,35	1,53
3,19	2,04
4,66	2,93
3,49	2,22
3,60	2,28

Quadro I.IV Resultados para o LabD da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
3,64	2,31
3,61	2,29
3,45	2,19
3,55	2,26
3,33	2,12
3,29	2,09
1,23	0,85

Quadro I.V Resultados para o LabE da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
1,23	0,85
1,66	1,00
1,40	0,95

Quadro I.VI Resultados para o LabF da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
0,40	0,34
0,19	0,22
0,30	0,28

Apêndice II – Valores de CM corrigidos

Quadro I.VII Resultados para o LabG da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
0,59	0,46
0,33	0,29
0,51	0,41
4,47	2,81
0,60	0,47
0,53	0,42
0,43	0,36
0,76	0,56
0,41	0,35
0,13	0,18
0,39	0,34
0,13	0,18
0,57	0,45
1,91	1,26
0,88	0,64
1,00	0,71
0,91	0,65

Quadro I.VIII Resultados para o LabH da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
1,84	1,21
3,27	2,08
0,96	0,68

Quadro I.IX Resultados para o LabI da aplicação da Equação 1

CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
0,62	0,47
0,19	0,21
1,40	0,95

Quadro I.X Resultados para o LabJ da aplicação da Equação 1

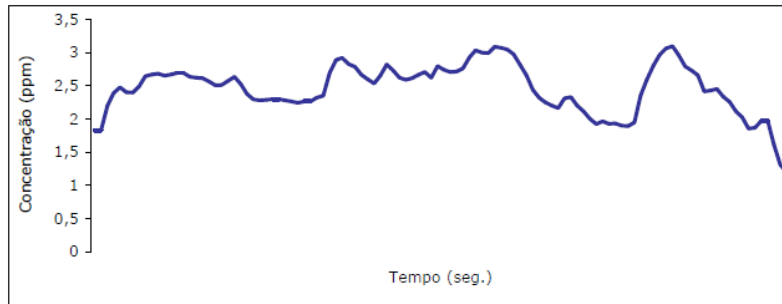
CM obtidas (ppm)	CM* corrigidas (ppm)
8,11	5,02
5,69	3,56
1,73	1,15
6,95	4,32



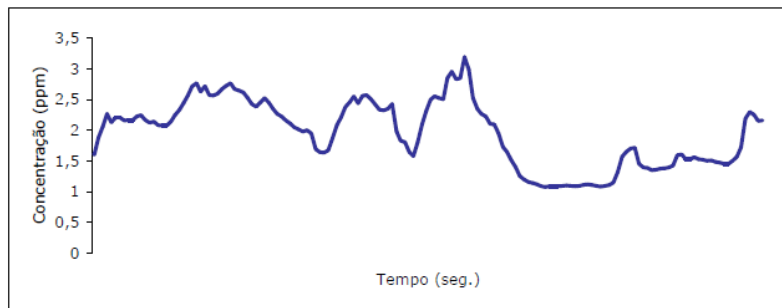
### **APÊNDICE III**

**Valores de concentração registados durante cada actividade**

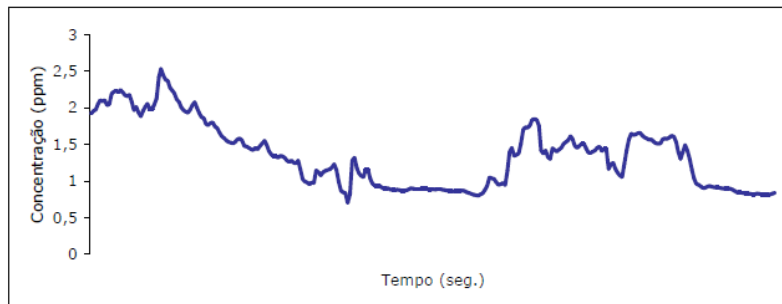
**Laboratório A**



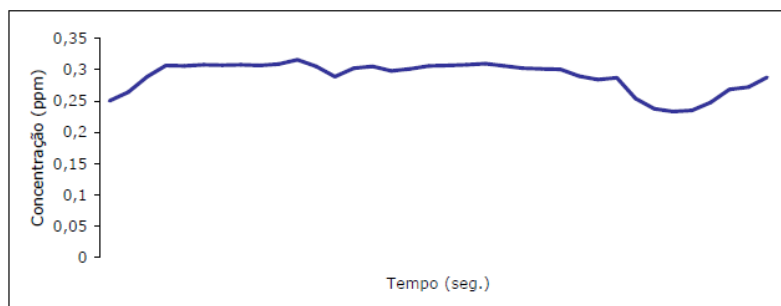
**Figura III.I:** Concentração registada durante EM vesícula (110 seg.).



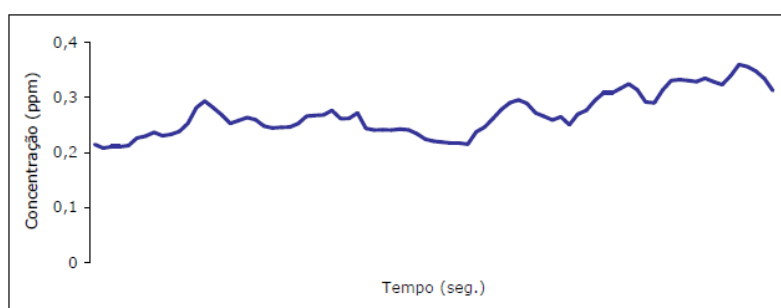
**Figura III.II:** Concentração registada durante EM apêndice (159 seg.).



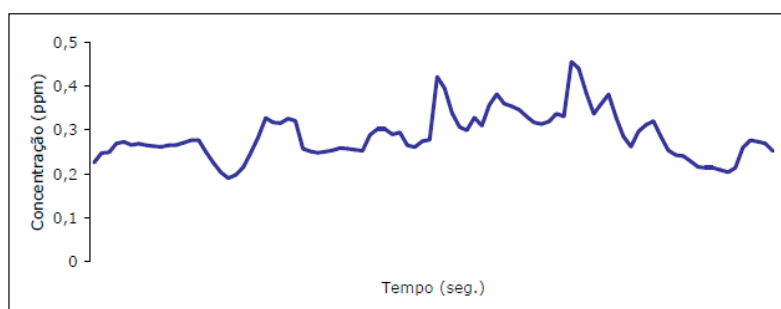
**Figura III.III:** Concentração registada durante EM lipoma (CM=2,44 ppm/306 seg.).



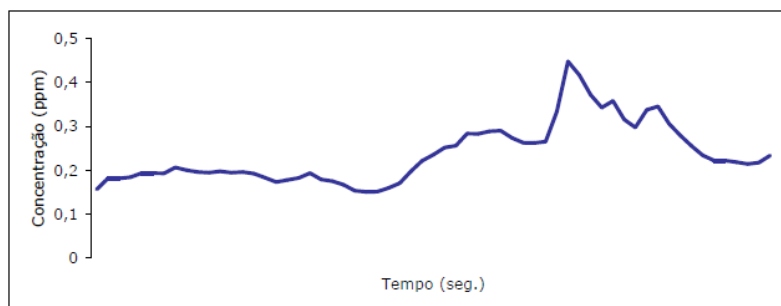
**Figura III.IV:** Concentração registada durante EM pele (37 seg.).



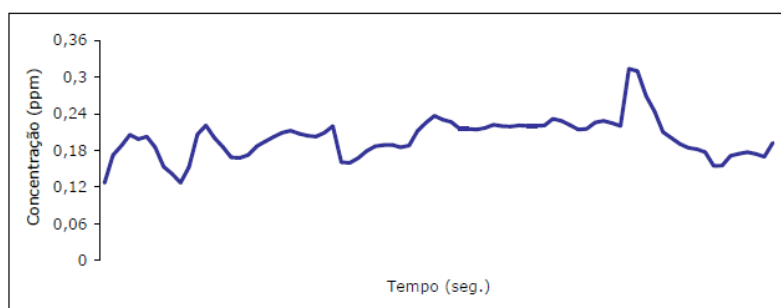
**Figura III.V:** Concentração registada durante EM coração (82 seg.).



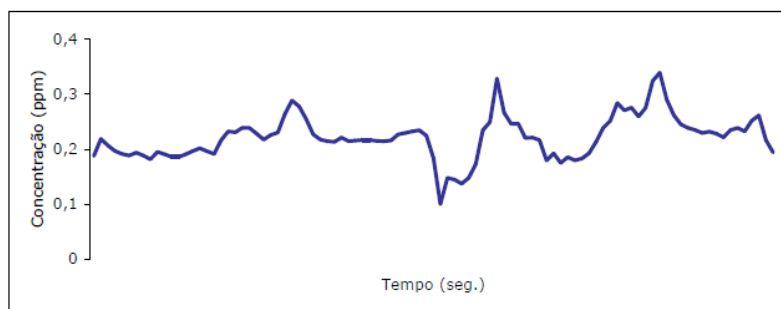
**Figura III.VI:** Concentração registada durante EM trompa (93 seg.).



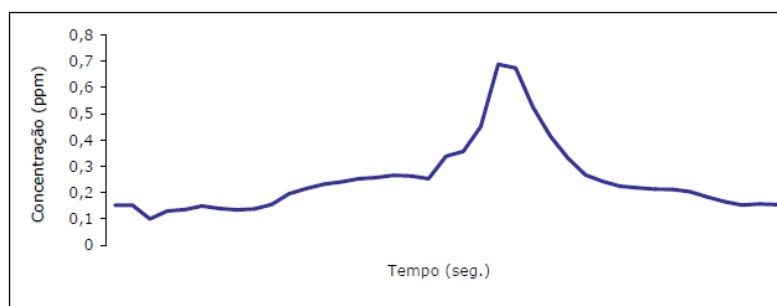
**Figura III.VII:** Concentração registrada durante EM ovário (62 seg.).



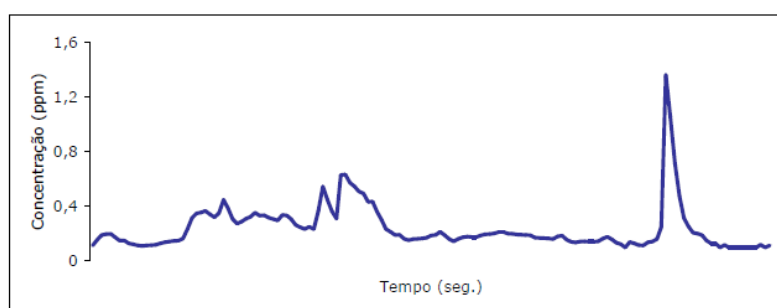
**Figura III.VIII:** Concentração registrada durante EM quisto do ovário (81 seg.).



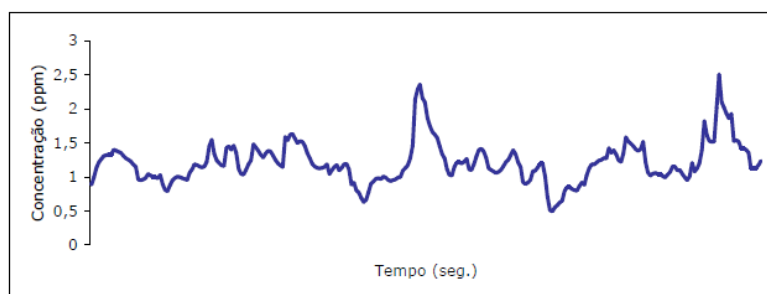
**Figura III.IX:** Concentração registrada durante EM tireóide (98 seg.).



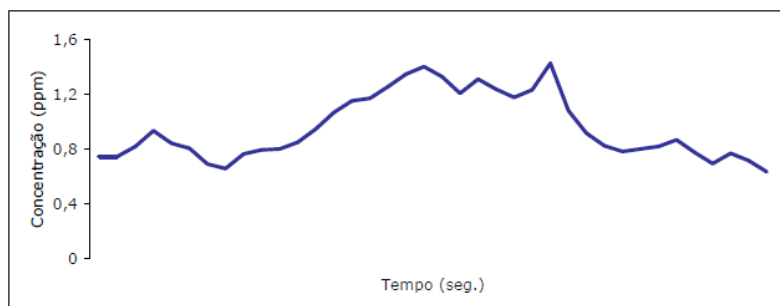
**Figura III.X:** Concentração registrada durante EM tecido adiposo mama (40 seg.).



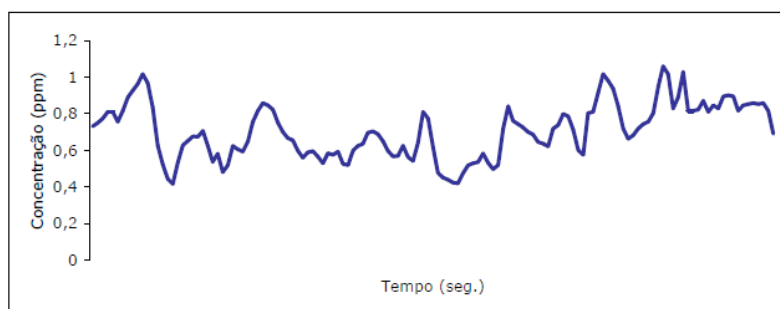
**Figura III.XI:** Concentração registrada durante EM mama (152 seg.).



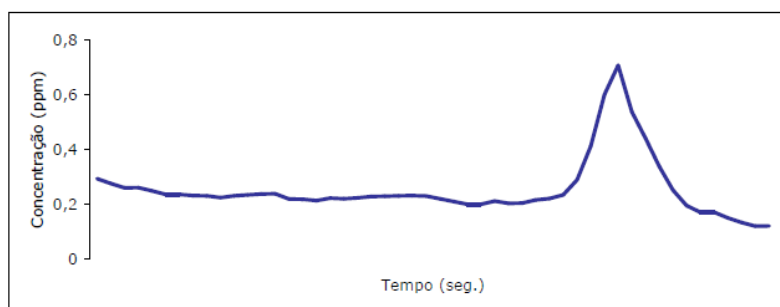
**Figura III.XII:** Concentração registrada durante a colocação de formol em recipientes (274 seg.).



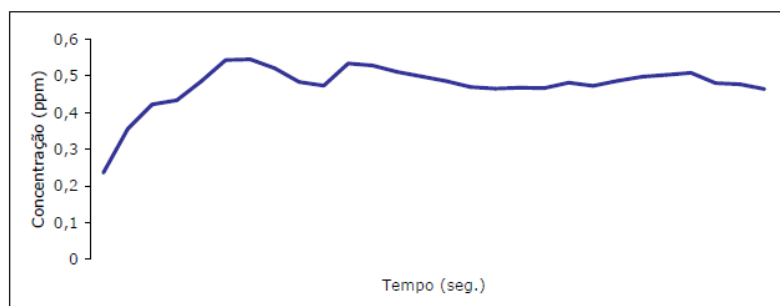
**Figura III.XII:** Concentração registada durante o EM mama (38 seg.).



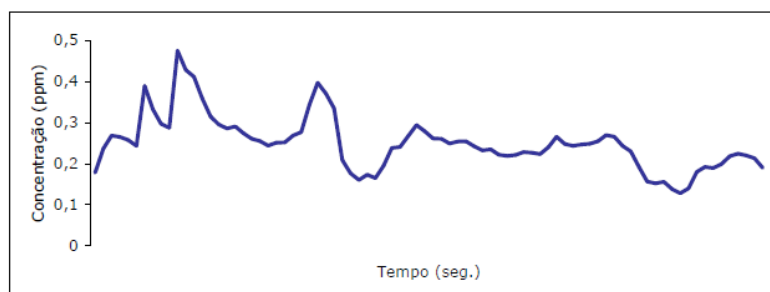
**Figura III.XIV:** Valores de concentração registados durante o EM útero (138 seg.).



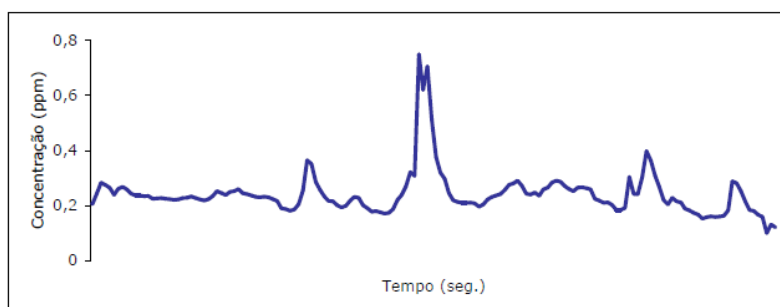
**Figura III.XV:** Valores de concentração registados durante o EM rim (51 seg.).



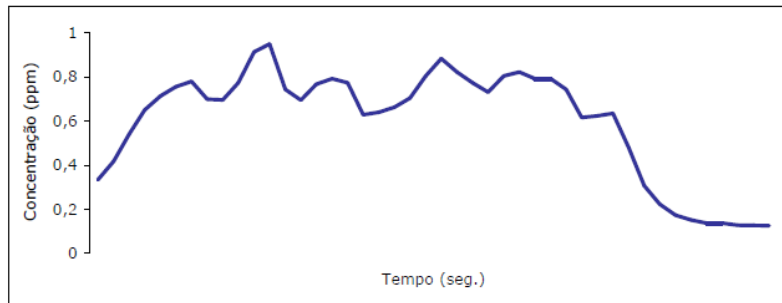
**Figura III.XVI:** Valores de concentração registados durante o EM rim (29 seg.).



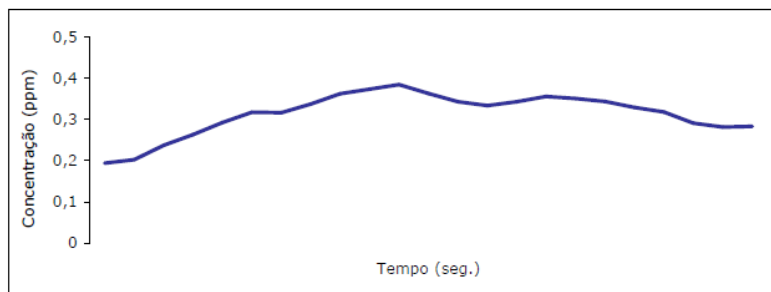
**Figura III.XVII:** Valores de concentração registados durante o EM rim (83 seg.).



**Figura III.XVIII:** Valores de concentração registados durante o EM rim (161 seg.).

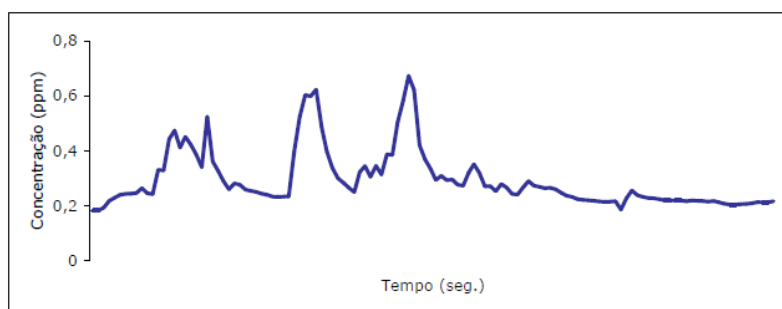


**Figura III.XIX:** Valores de concentração registados durante o EM rim (45 seg.).



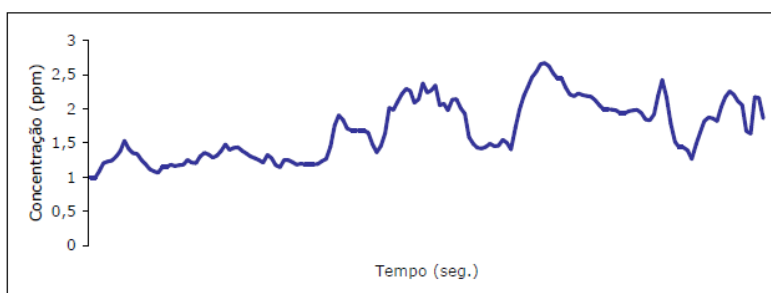
**Figura III.XX:** Valores de concentração registados durante o EM recto (24 seg.).

## Laboratório B

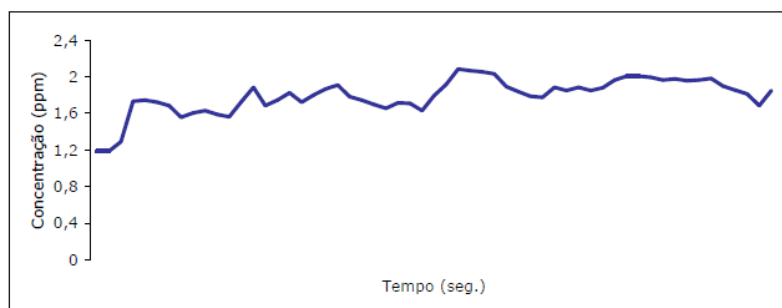


**Figura III.XXI:** Valores de concentração registados durante a lavagem de peças (126 seg.).

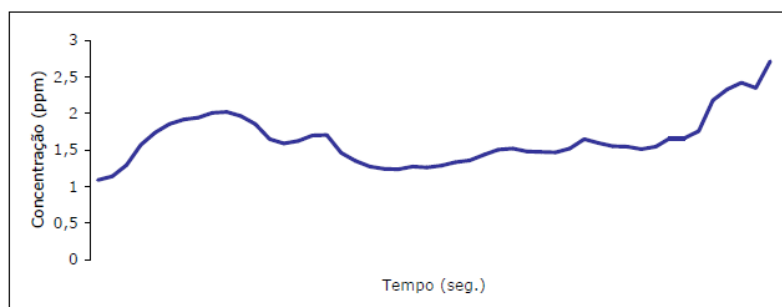




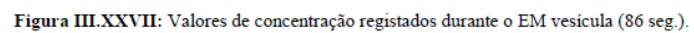
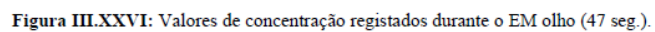
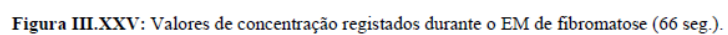
**Figura III.XXII:** Valores de concentração registados durante o EM peças pequenas (161 seg.).

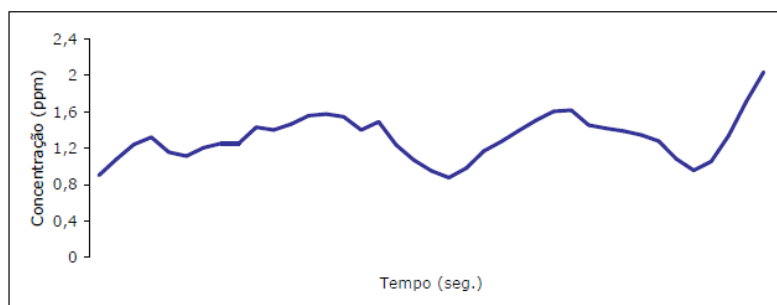


**Figura III.XXIII:** Valores de concentração registados durante o EM de peças pequenas (57 seg.).

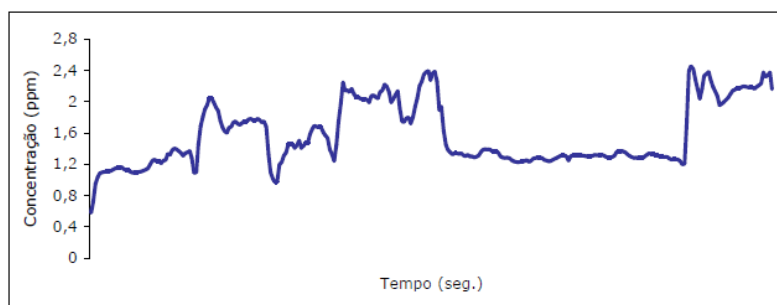


**Figura III.XXIV:** Valores de concentração registados durante o EM de fibromatose (49 seg.).

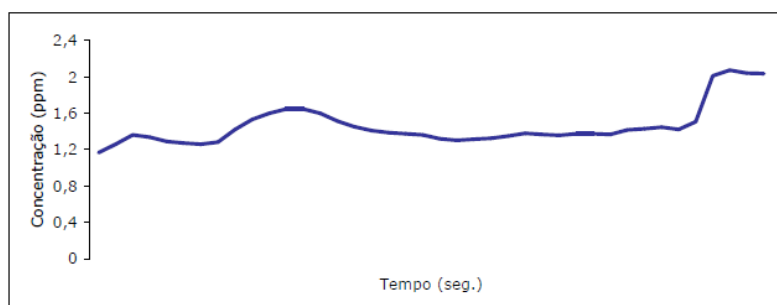




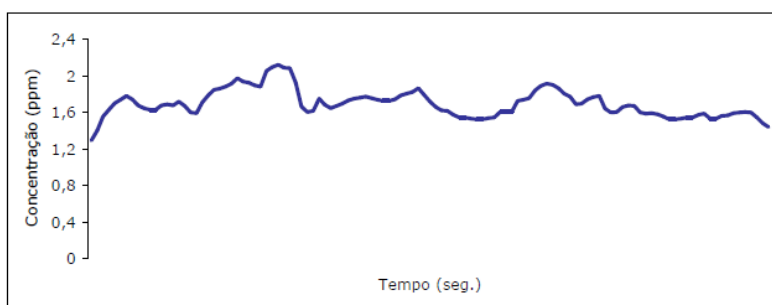
**Figura III.XXVIII:** Valores de concentração registados durante o EM vesícula (40 seg.).



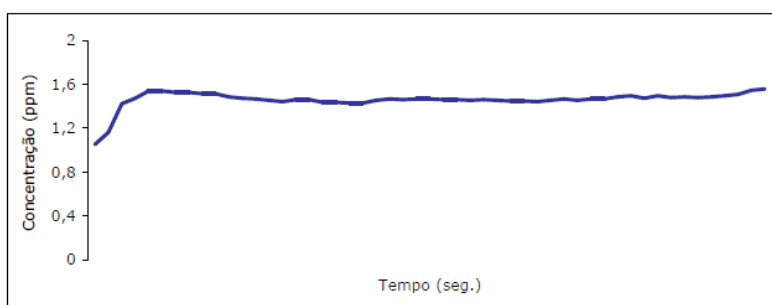
**Figura III.XXIX:** Valores de concentração registados durante o EM feto (313 seg.).



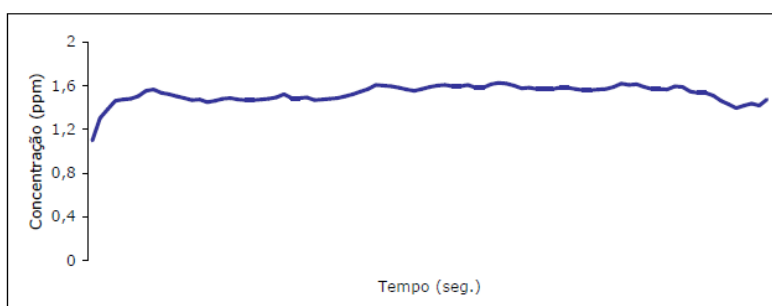
**Figura III.XXX:** Valores de concentração registados durante o EM feto (41 seg.).



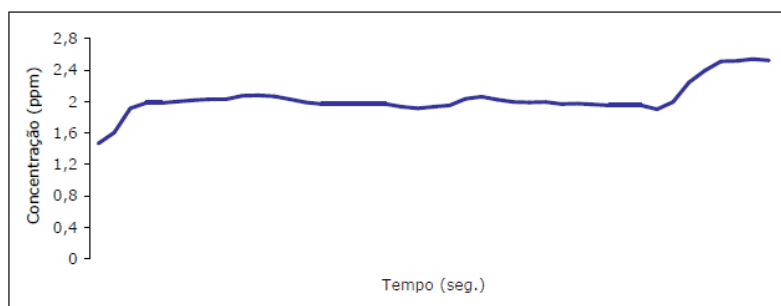
**Figura III.XXXI:** Valores de concentração registados durante o EM restos placentares (118 seg.).



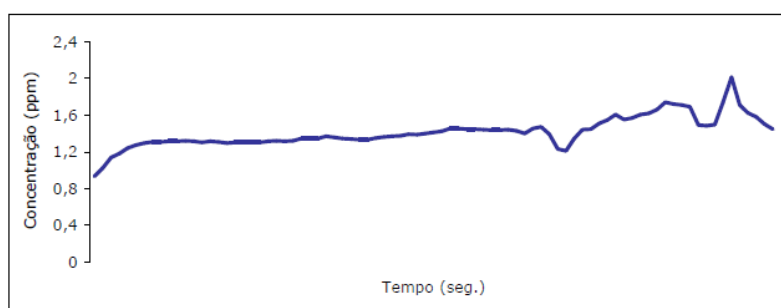
**Figura III.XXXII:** Valores de concentração registados durante o EM epiderme (52 seg.).



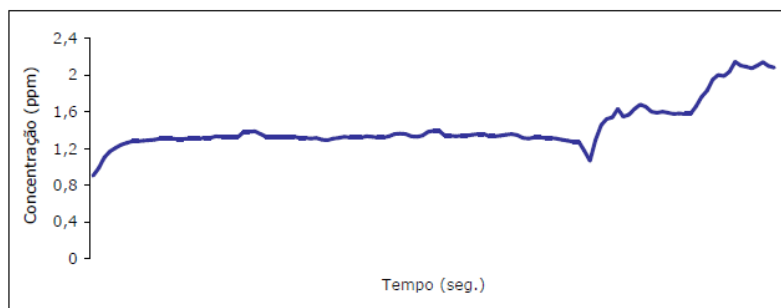
**Figura III.XXXIII:** Valores de concentração registados durante o EM útero (90 seg.).



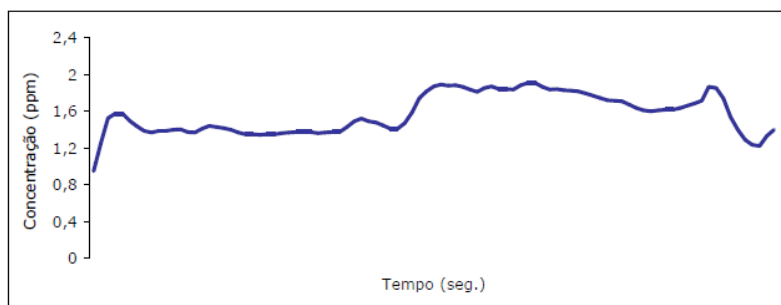
**Figura III.XXXIV:** Valores de concentração registados durante o EM útero (44 seg.).



**Figura III.XXXV:** Valores de concentração registados durante o EM tiróide (84 seg.).

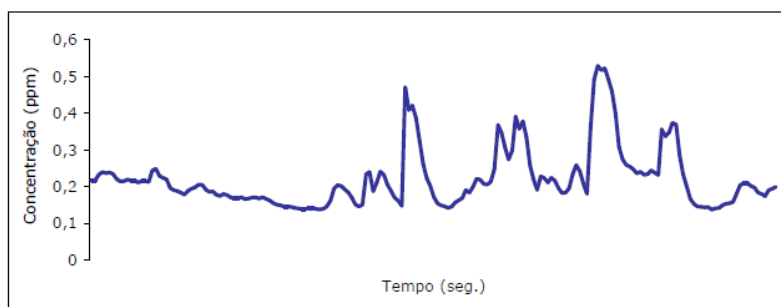


**Figura III.XXXVI:** Valores de concentração registados durante o EM tiróide (124 seg.).

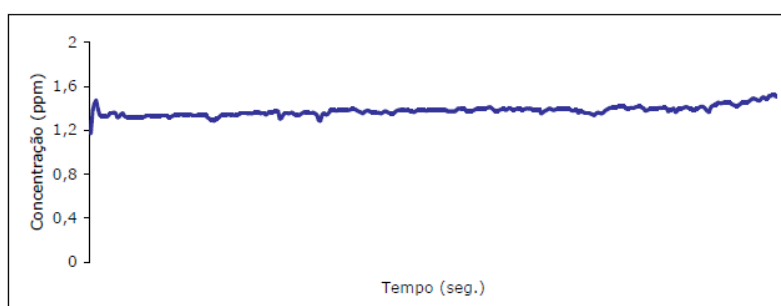


**Figura III.XXXVII:** Valores de concentração registados durante a realização de biopsias (96 seg.).

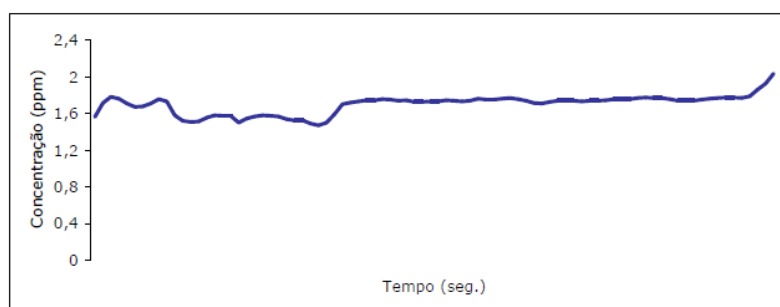
#### Laboratório C



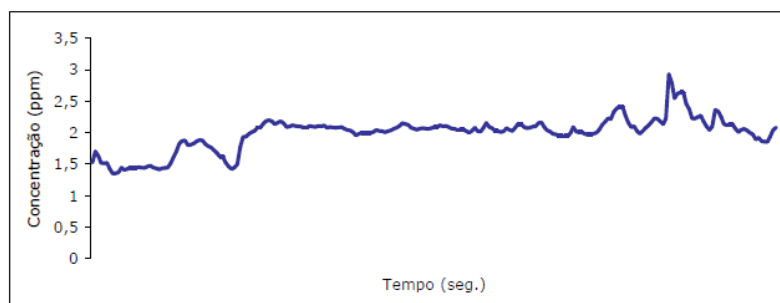
**Figura III.XXXVIII:** Valores de concentração registados durante a eliminação de reservas (193 seg.).



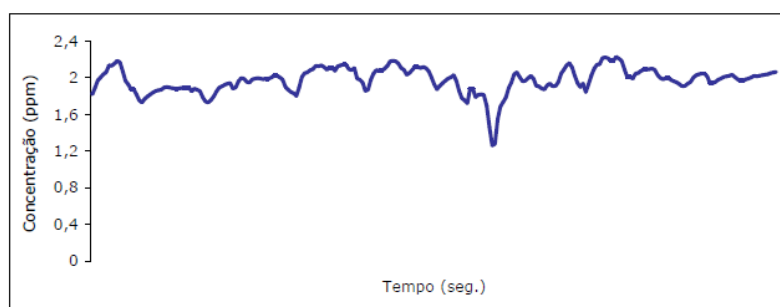
**Figura III.XXXIX:** Valores de concentração registados durante o EM intestino (389 seg.).



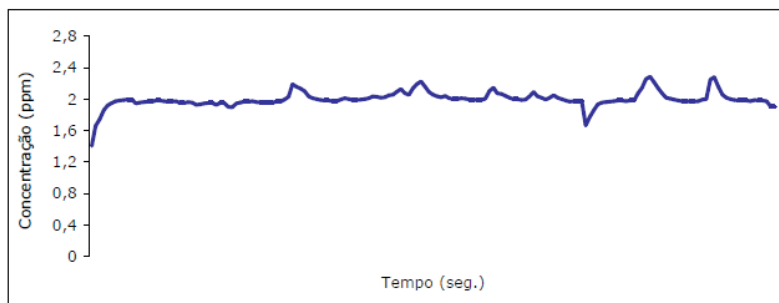
**Figura III.XL:** Valores de concentração registados durante o EM anús e recto (86 seg.).



**Figura III.XLI:** Valores de concentração registados durante 2 EM em simultâneo (237 seg.).

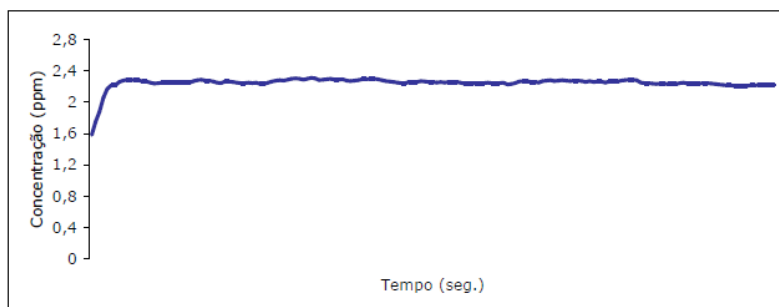


**Figura III.XLII:** Valores de concentração registados durante 2 EM em simultâneo + biopsia+lavagem de peças (249 seg.).



**Figura III. XLIII:** Valores de concentração registados durante lavagem de peça e adição de formol (171 seg.).

#### Laboratório D



**Figura III.XLIV:** Valores de concentração registados durante EM peça indeterminada (175 seg.).



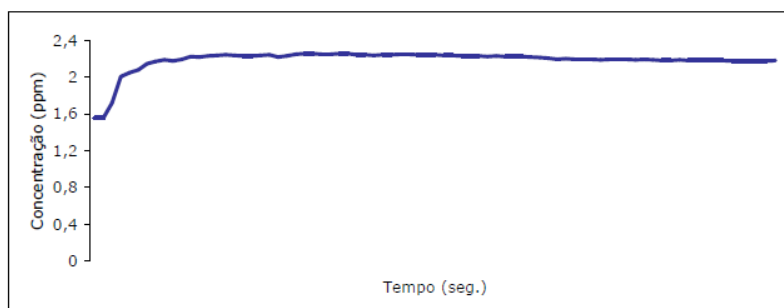


Figura III. XLV: Valores de concentração registados durante EM útero (79 seg.).

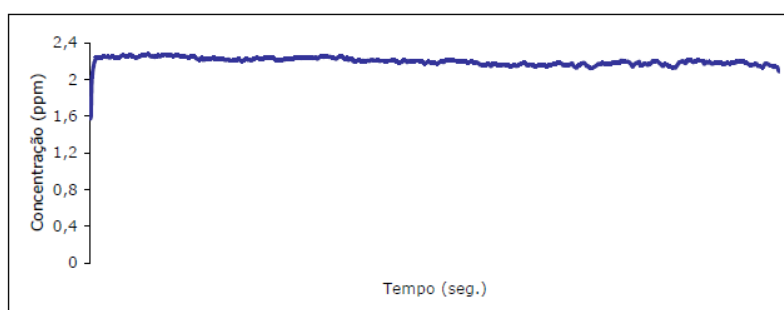


Figura III. XLVI: Valores de concentração registados durante EM ovários (782 seg.).

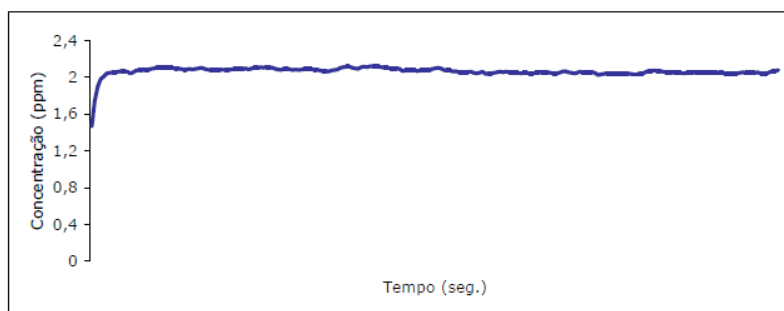


Figura III. XLVII: Valores de concentração registados durante EM peça indeterminada (233 seg.).

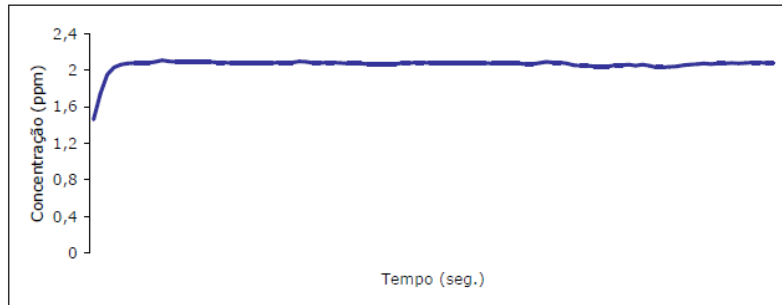


Figura III. XLVIII: Valores de concentração registados durante EM encéfalo (100 seg.).

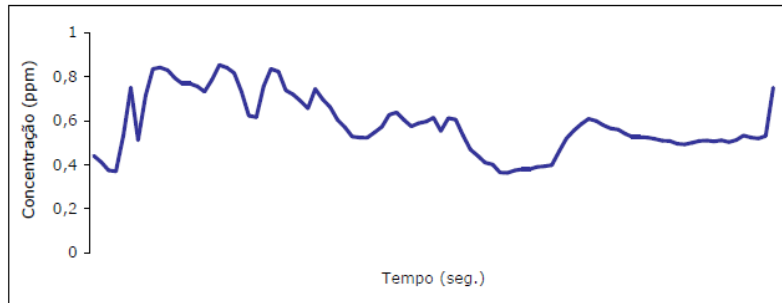


Figura III. XLIX: Valores de concentração registados durante o registo de dados (93seg.).

#### Laboratório E

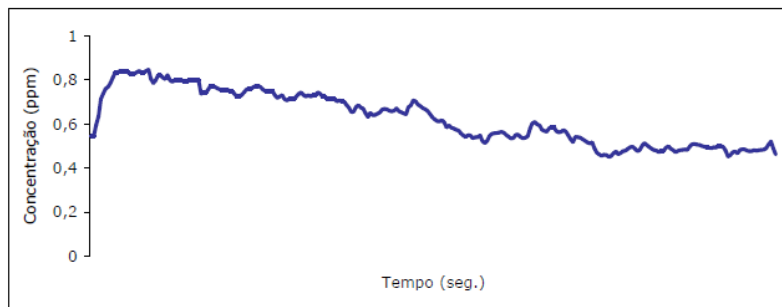
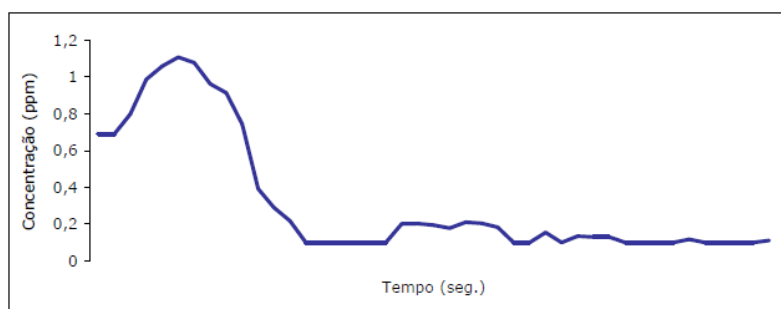
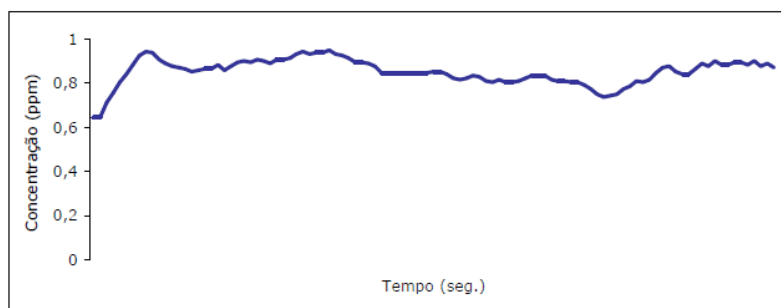


Figura III.L: Valores de concentração registados durante o EM peles (288 seg.).

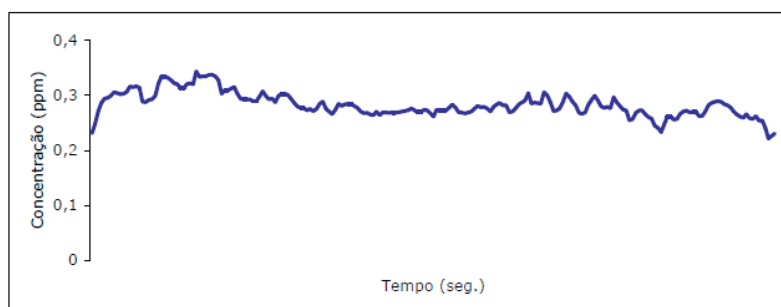


**Figura III. LI:** Valores de concentração registados durante o EM peças pequenas (43 seg.).

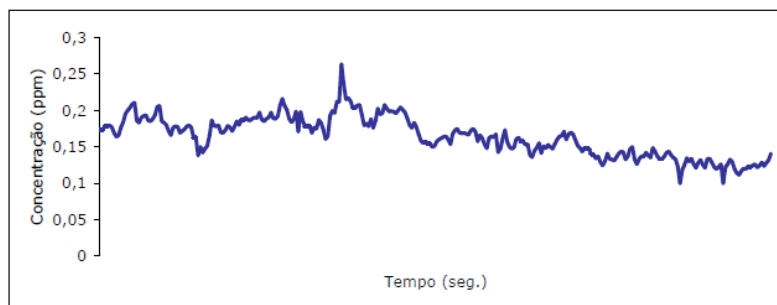


**Figura III. LII:** Valores de concentração registados durante o EM fígado (43 seg.).

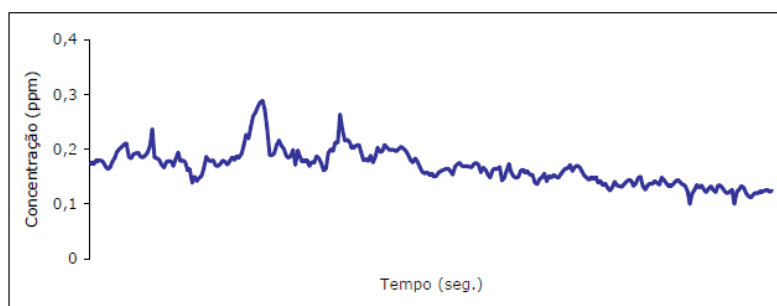
#### Laboratório F



**Figura III. LIII:** Valores de concentração registados durante o EM útero (217 seg.).

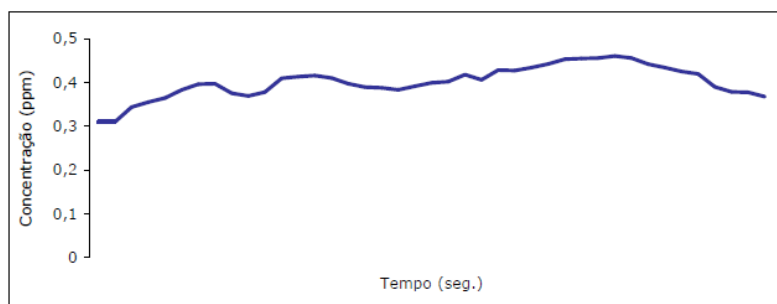


**Figura III. LIV:** Valores de concentração registados durante o EM útero (296 seg.).

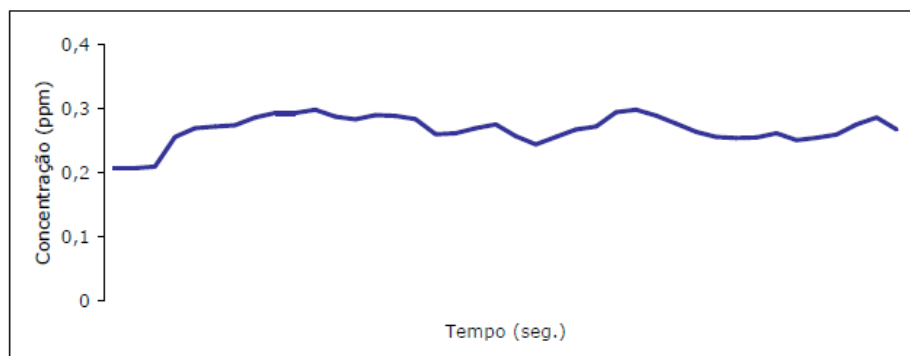


**Figura III. LV:** Valores de concentração registados durante a movimentação de recipientes (291 seg.).

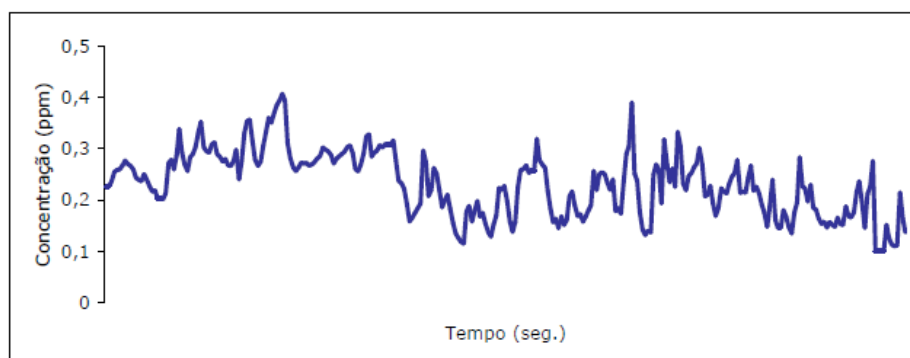
#### Laboratório G



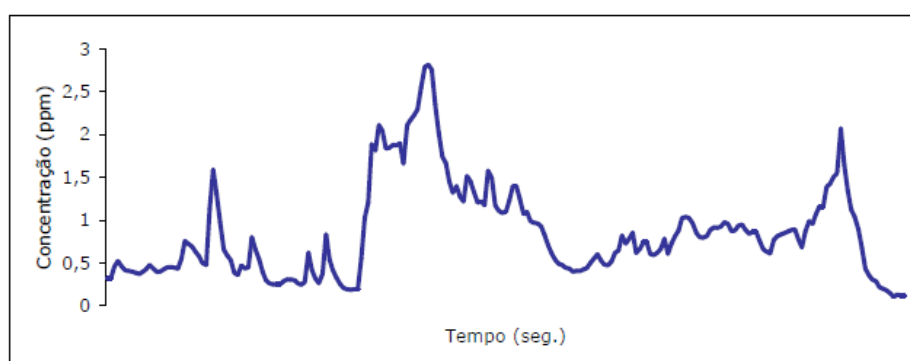
**Figura III. LVI:** Valores de concentração registados durante o EM tiróide (41 seg.).



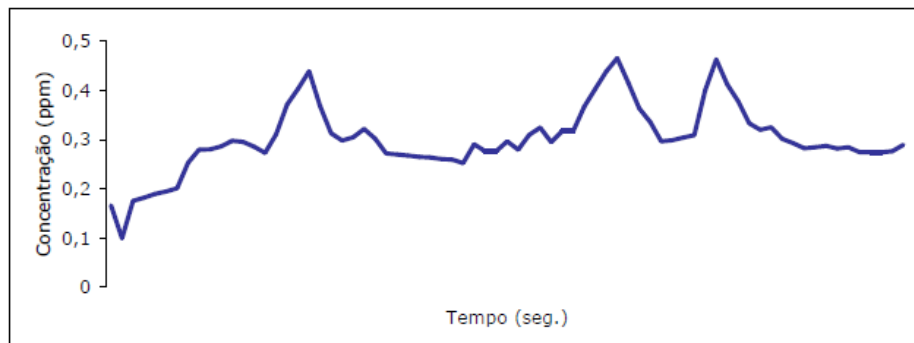
**Figura III. LVII:** Valores de concentração registados durante o EM vesícula (40 seg.).



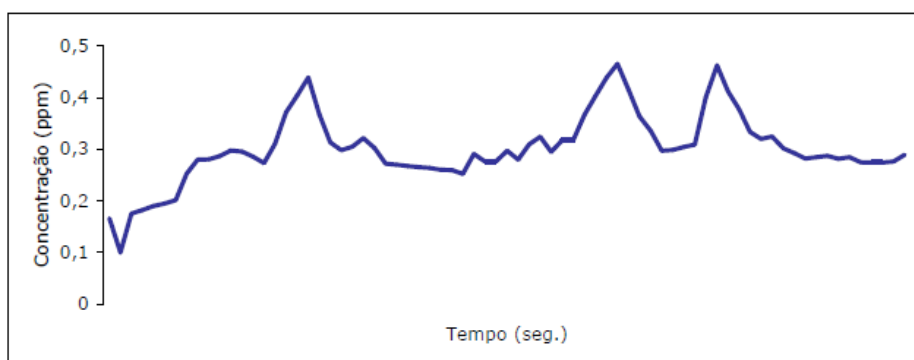
**Figura III. LVIII:** Valores de concentração registados durante o EM útero (296 seg.).



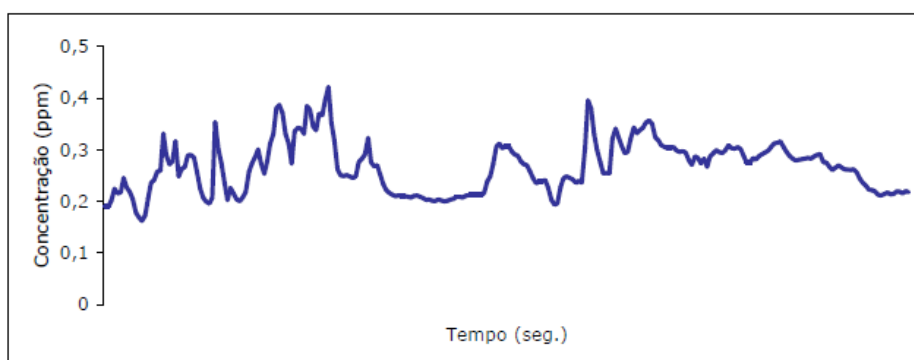
**Figura III. LIX:** Valores de concentração registados durante o EM mama (227 seg.).



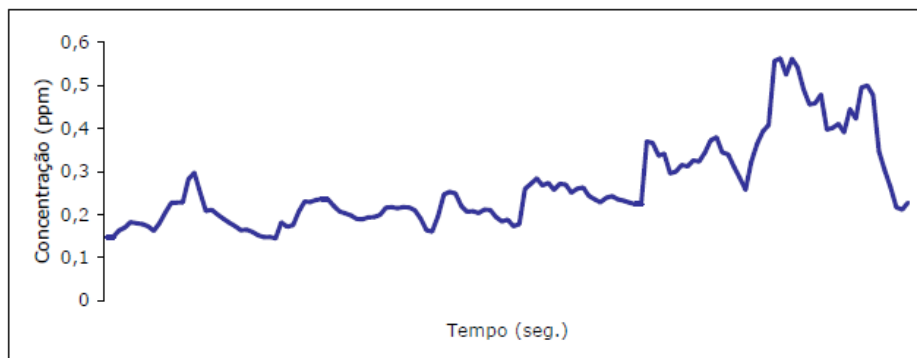
**Figura III.LX:** Valores de concentração registados durante o EM restos ovulares (73 seg.).



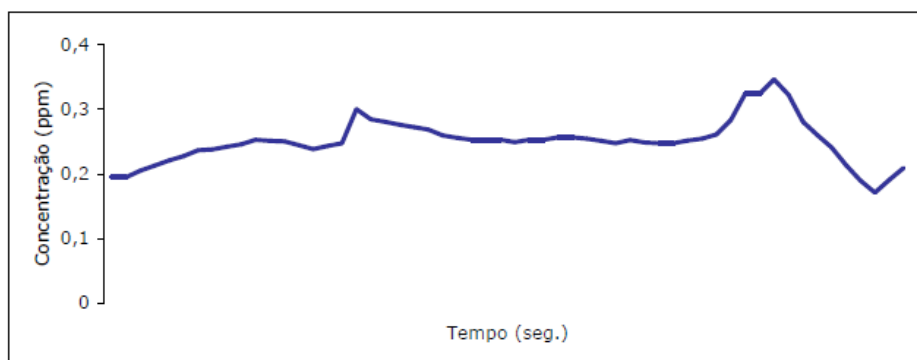
**Figura III.LXI:** Valores de concentração registados durante o EM útero e anexos (264 seg.).



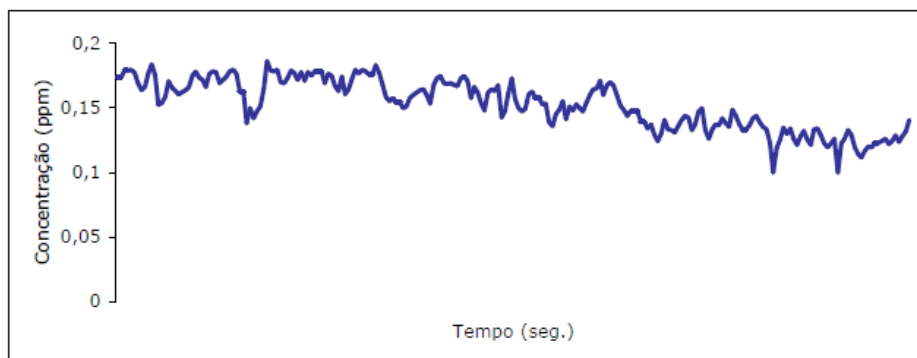
**Figura III.LXII:** Valores de concentração registados durante o EM apêndice e tiróide (52 seg.).



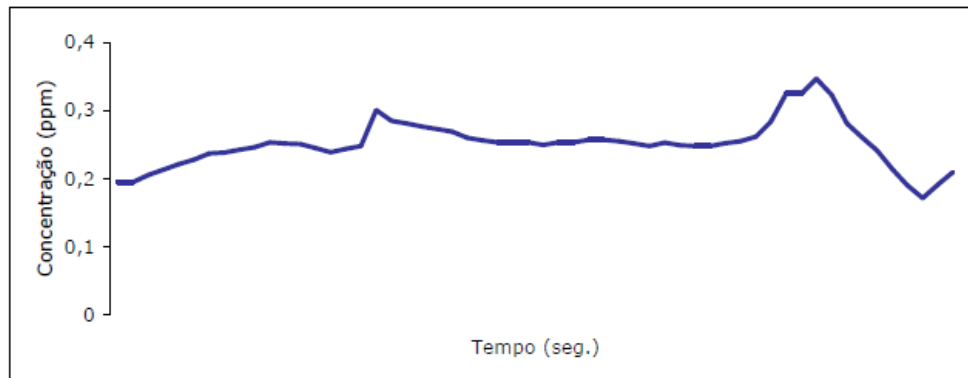
**Figura III.LXIII:** Valores de concentração registados durante o EM próstata (139 seg.).



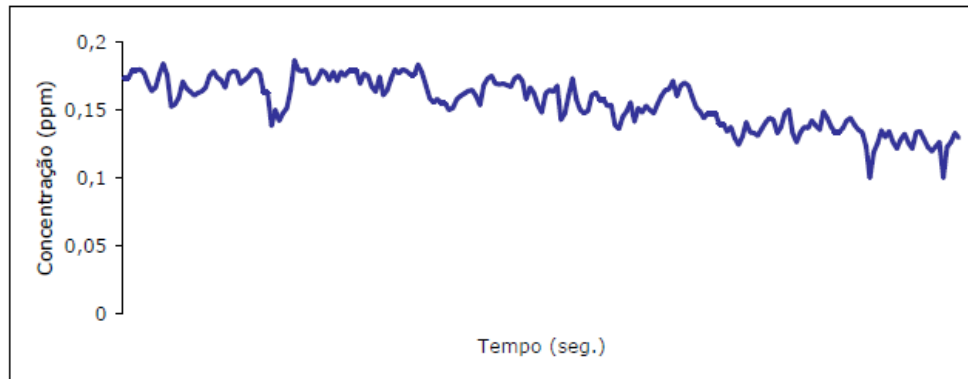
**Figura III.LXIV:** Valores de concentração registados durante o EM nódulo (56 seg.).



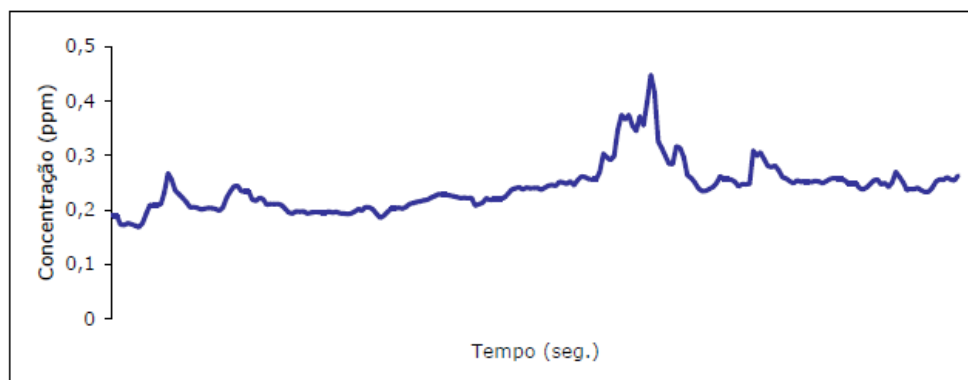
**Figura III.LXV:** Valores de concentração registados durante o EM sinais (235 seg.).



**Figura III.LXVI:** Valores de concentração registados durante o EM lipoma (68 seg.).

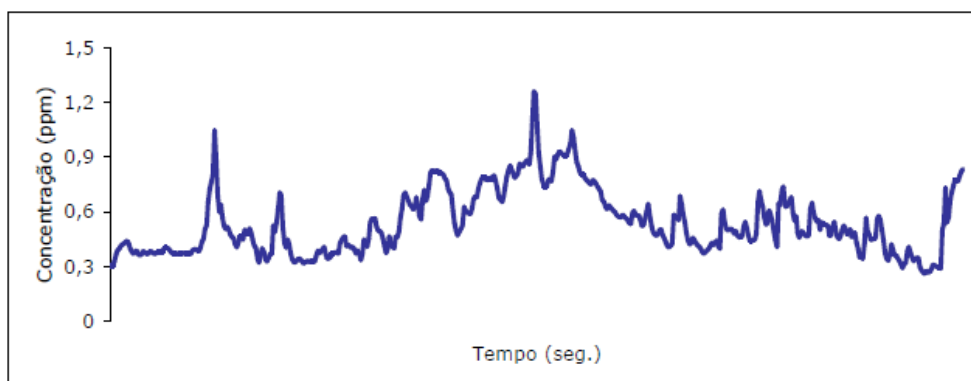


**Figura III.LXVII:** Valores de concentração registados durante o EM lipoma (218 seg.).

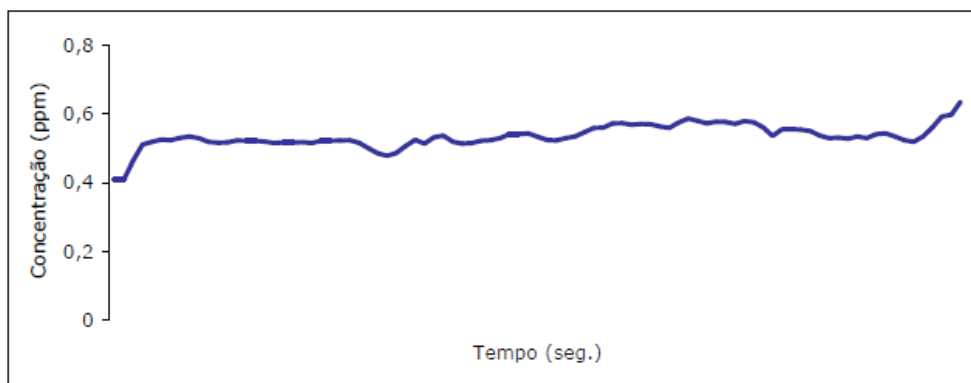


**Figura III.LXVIII:** Valores de concentração registados durante o EM cólon (232 seg.).

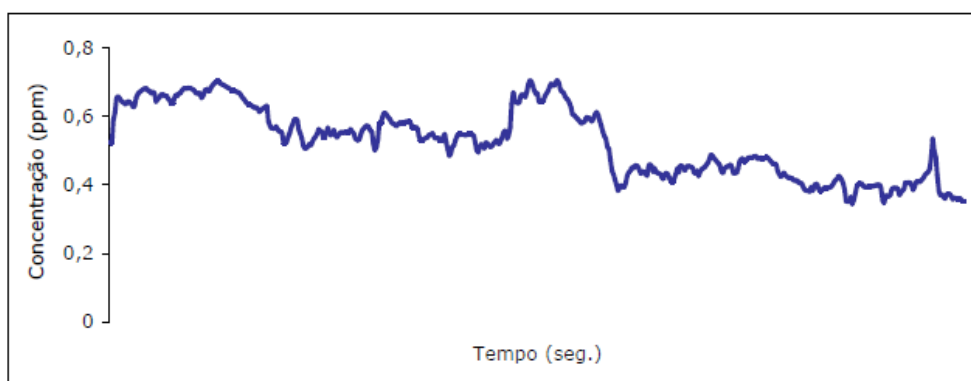




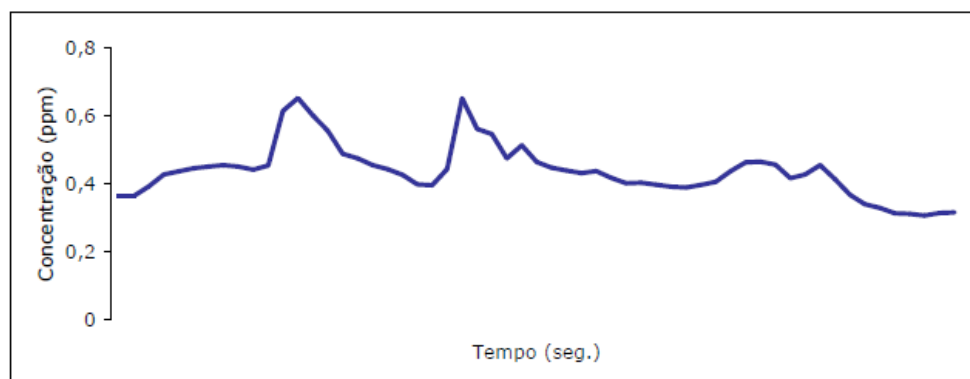
**Figura III.LXIX:** Valores de concentração registados durante a realização de biópsias (537 seg.).



**Figura III.LXX:** Valores de concentração registados durante a colocação de formol em recipientes (91 seg.).

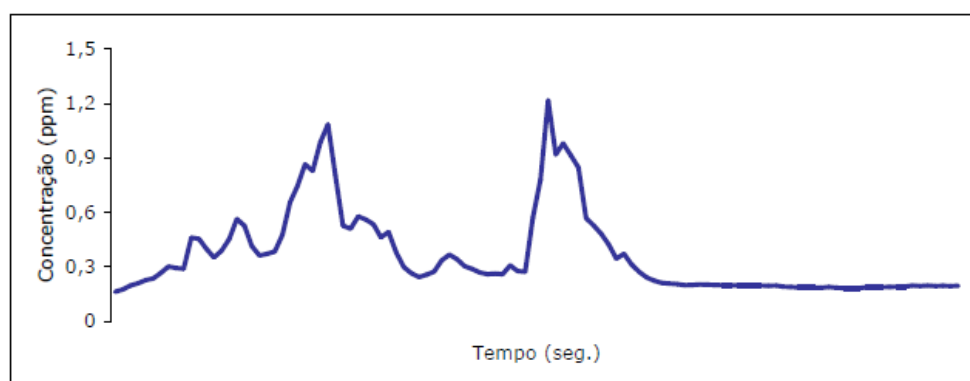


**Figura III.LXXI:** Valores de concentração registados durante a eliminação de reservas (563 seg.).

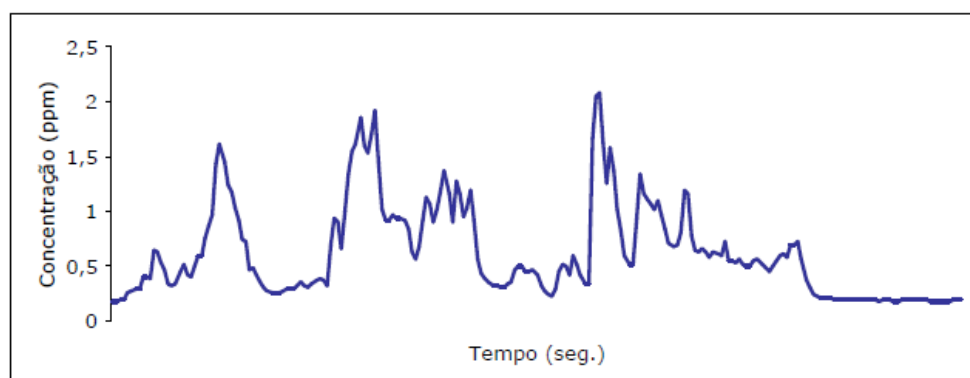


**Figura III.LXXII:** Valores de concentração registados durante a eliminação de reservas (57 seg.).

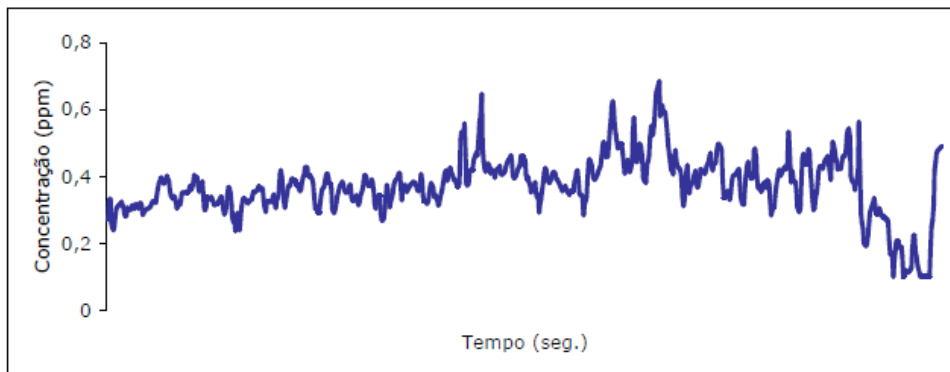
#### Laboratório H



**Figura III.LXXIII:** Valores de concentração registados durante EM fistula (112 seg.).

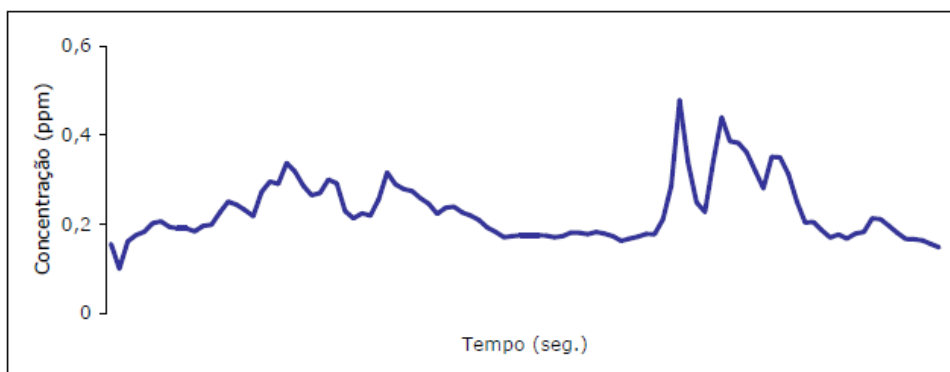


**Figura III.LXXV:** Valores de concentração registados durante EM mama (231 seg.).

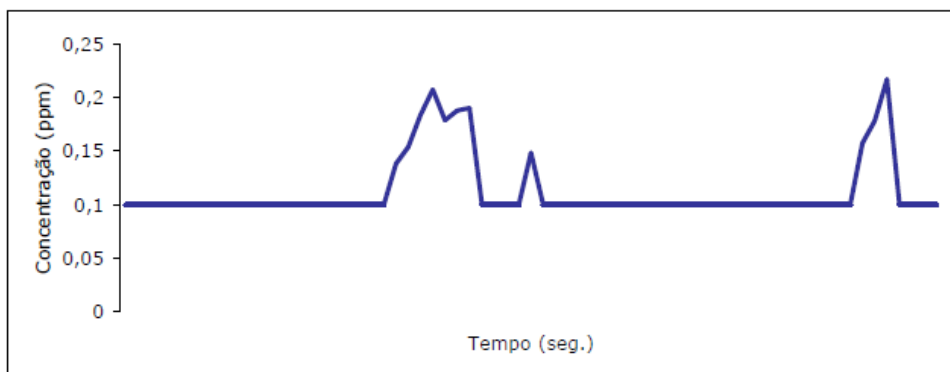


**Figura III.LXXVI:** Valores de concentração registados durante a eliminação de reservas (829 seg.).

### Laboratório I



**Figura III.LXXVII:** Valores de concentração registados durante EM peças pequenas (100 seg.).



**Figura III.LXXVIII:** Valores de concentração registados durante EM útero (76 seg.).

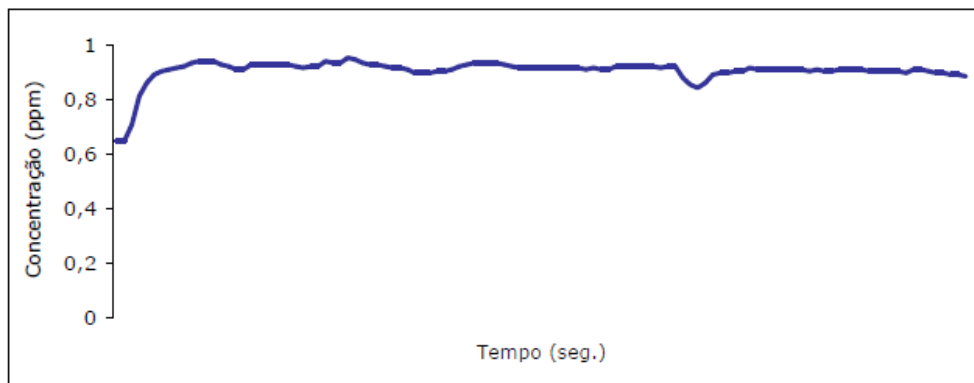


Figura III.LXXIX: Valores de concentração registados durante a eliminação de reservas (115 seg.).

#### Laboratório J

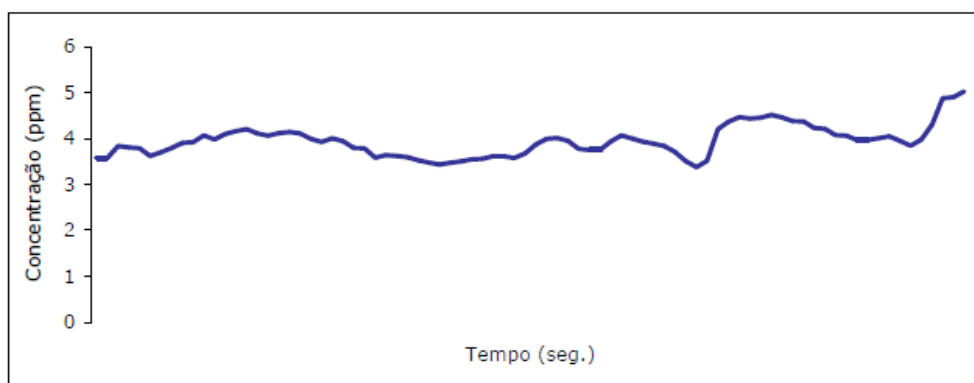


Figura III.LXXX: Valores de concentração registados durante EM cólon (82 seg.).

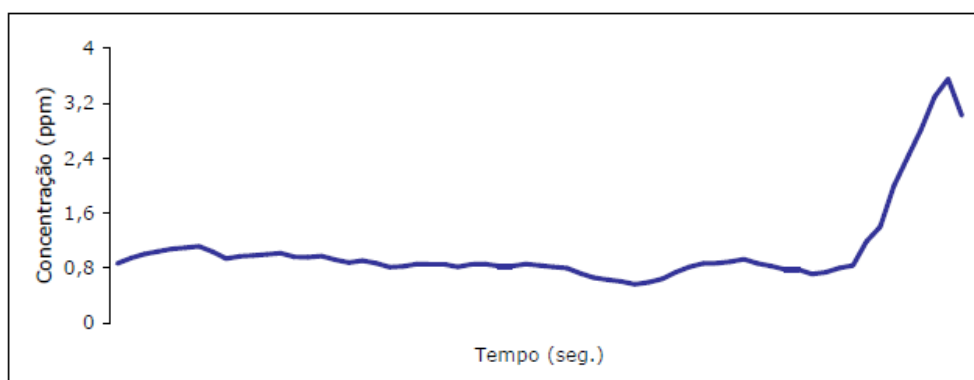
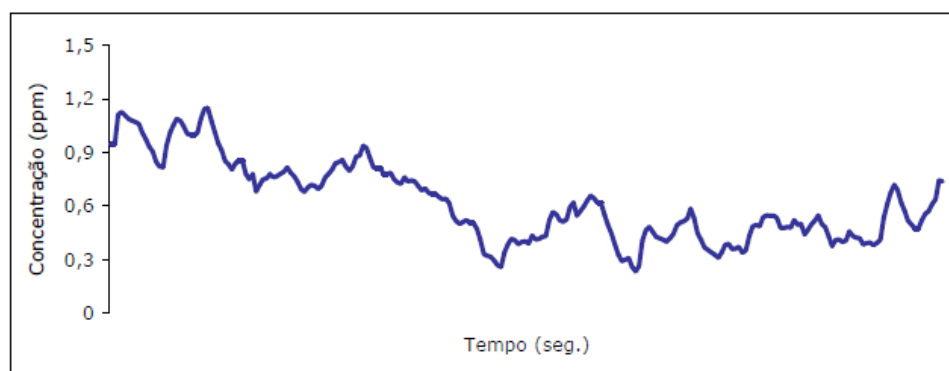
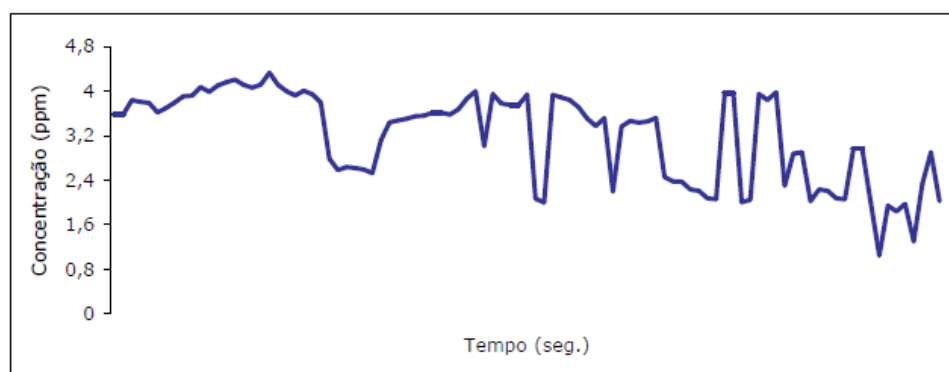


Figura III.LXXXI: Valores de concentração registados durante EM peças pequenas (63 seg.).



**Figura III.LXXXII:** Valores de concentração registados durante EM vesícula (242 seg.).



**Figura III.LXXXIII:** Valores de concentração registados durante o registo de dados (97 seg.).

**APÊNDICE IV**

**Resultados da avaliação do risco**

Apêndice IV – Resultados da avaliação do risco

Quadro III.I: Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabA

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco Quantitativa/Qualitativa	
EM vesícula	3,09	3	5	15	Risco elevado
EM apêndice	3,19	3	5	15	Risco elevado
EM lipoma	2,44	3	5	15	Risco elevado
EM pele	0,35	1	5	5	Risco baixo
EM coração	0,42	1	5	5	Risco baixo
EM trompa	0,58	1	5	5	Risco baixo
EM ovário	0,45	1	5	5	Risco baixo
EM quisto do ovário	0,35	1	5	5	Risco baixo
EM tireóide	0,34	1	5	5	Risco baixo
EM tecido adiposo mama	0,69	1	5	5	Risco baixo
EM mama	1,36	2	5	10	Risco médio
Colocação de formol em recipientes	2,51	3	5	15	Risco elevado
EM mama	1,05	2	5	10	Risco médio
EM mama	0,71	1	5	5	Risco baixo
EM útero	0,55	1	5	5	Risco baixo
EM rim	1,22	2	5	10	Risco médio
EM rim	0,75	1	5	5	Risco baixo
EM rim	0,85	1	5	5	Risco baixo
EM rim	0,38	1	5	5	Risco baixo
EM recto	0,91	1	5	5	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

Apêndice IV – Resultados da avaliação do risco

**Quadro III.II:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabB

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
Lavagem de peças	0,62	1	5	5	Risco baixo
EM peças pequenas	2,67	3	5	15	Risco elevado
EM peças pequenas	1,93	2	5	10	Risco médio
EM fibromatose	2,71	3	5	15	Risco elevado
EM fibromatose	3,36	3	5	15	Risco elevado
EM olho	1,49	2	5	10	Risco médio
EM vesícula	2,52	3	5	15	Risco elevado
EM vesícula	2,04	3	5	15	Risco elevado
EM feto	2,39	3	5	15	Risco elevado
EM feto	2,07	3	5	15	Risco elevado
EM restos placentares	2,12	3	5	15	Risco elevado
EM epiderme	1,55	2	5	10	Risco médio
EM útero	1,62	2	5	10	Risco médio
EM útero	2,54	3	5	15	Risco elevado
EM tiróide	2,01	3	5	15	Risco elevado
EM tiróide	2,14	3	5	15	Risco elevado
Biópsias	1,91	2	5	10	Risco médio

EM – Exame Macroscópico



Apêndice IV – Resultados da avaliação do risco

**Quadro III.III:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabC

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
Eliminação de reservas	0,53	1	3	3	Risco baixo
EM intestino	1,53	2	5	10	Risco médio
EM ânus e recto	2,04	3	5	15	Risco elevado
2 EM em simultâneo	2,93	3	5	15	Risco elevado
2 EM em simultâneo+biópsia+ lavagem de peças	2,22	3	4	12	Risco médio
Lavagem de peça+adição de formaldeído	2,28	3	5	15	Risco elevado

EM – Exame Macroscópico

**Quadro III.IV:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabD

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM peça indeterminada	2,31	3	5	15	Risco elevado
EM útero	2,29	3	5	15	Risco elevado
EM ovários	2,19	3	5	15	Risco elevado
EM peça indeterminada	2,26	3	5	15	Risco elevado
EM fragmentos de autópsias	2,12	3	5	15	Risco elevado
EM encéfalo	2,09	3	5	15	Risco elevado
Registo de dados durante EM	0,85	1	5	5	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

**Quadro III.V:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabE

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM peles	0,85	1	5	5	Risco baixo
EM peças pequenas	1	1	5	5	Risco baixo
EM fígado	0,95	1	5	5	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

Apêndice IV – Resultados da avaliação do risco

**Quadro III.VI:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabF

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM útero	0,34	1	5	5	Risco baixo
EM útero	0,22	1	5	5	Risco baixo
Movimentação de recipientes	0,28	1	5	5	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

**Quadro III.VII:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabG

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM tireóide	0,46	1	5	5	Risco baixo
EM vesícula	0,29	1	5	5	Risco baixo
EM útero	0,41	1	5	5	Risco baixo
EM mama	2,81	3	5	15	Risco elevado
EM restos ovulares	0,47	1	5	5	Risco baixo
EM útero e anexos	0,42	1	5	5	Risco baixo
EM apêndice e tireóide	0,36	1	5	5	Risco baixo
EM próstata	0,56	1	5	5	Risco baixo
EM nódulo	0,35	1	5	5	Risco baixo
EM sinais	0,18	1	5	5	Risco baixo
EM lipoma	0,34	1	5	5	Risco baixo
EM estômago	0,18	1	5	5	Risco baixo
EM cólon	0,45	1	5	5	Risco baixo
Biópsias	1,26	2	5	10	Risco médio
Colocação de formol em recipientes	0,64	1	5	5	Risco baixo
Eliminação de reservas	0,71	1	3	3	Risco baixo
Eliminação de reservas	0,65	1	3	3	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

Apêndice IV – Resultados da avaliação do risco

**Quadro III.VIII:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabH

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM fístula	1,21	2	5	10	Risco médio
EM mama	2,08	3	5	15	Risco elevado
Eliminação de reservas	0,68	1	3	3	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

**Quadro III.IX:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabI

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM peças pequenas	0,47	1	5	5	Risco baixo
EM útero	0,21	1	5	5	Risco baixo
Eliminação de reservas	0,95	1	3	3	Risco baixo

EM – Exame Macroscópico

**Quadro III.X:** Resultados da aplicação da metodologia de avaliação do risco no LabJ

Actividade	CM* (ppm)	Níveis de Gravidade	Níveis de Probabilidade de Exposição	Avaliação do Risco	
EM cólon	5,02	5	5	25	Risco muito elevado
EM peças pequenas	3,56	3	5	15	Risco elevado
EM vesícula	1,15	2	5	10	Risco médio
Registo de dados durante o EM	4,32	4	5	20	Risco muito elevado

EM – Exame Macroscópico

## **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**Método NIOSH 2541**

# FORMALDEHYDE by GC

2541

H<sub>2</sub>C=O

MW: 30.03

CAS: 50-00-0

RTECS: LP8925000

METHOD: 2541, Issue 2

EVALUATION: PARTIAL

Issue 1: 15 May 1989

Issue 2: 15 August 1994

OSHA : 0.75 ppm; 2 ppm STEL  
NIOSH: 0.016 ppm; C 0.1 ppm; carcinogen  
ACGIH: C 0.3 ppm; suspected human carcinogen  
(1 ppm = 1.23 mg/m<sup>3</sup> @ NTP)

PROPERTIES: gas; vapor density 1.067 (air = 1);  
BP 19.5 °C; explosive range 7 to 73%  
v/v in air

SYNONYMS: methanal; formalin (aqueous 30 to 60% w/v HCHO); methylene oxide

SAMPLING		MEASUREMENT	
SAMPLER:	SOLID SORBENT TUBE (10% (2-hydroxymethyl)piperidine on XAD-2, 120 mg/60 mg	TECHNIQUE:	GAS CHROMATOGRAPHY, FID
FLOW RATE:	0.01 to 0.10 L/min	ANALYTE:	oxazolidine derivative of formaldehyde
VOL-MIN:	1 @ 3 ppm	DESORPTION:	1 mL toluene; 60 min ultrasonic
-MAX:	36 L	INJECTION VOLUME:	1 µL splitless; split vent time 30 sec
SHIPMENT:	routine	TEMPERATURE-INJECTOR:	250 °C
SAMPLE STABILITY:	3 weeks @ 25 °C [1]	-DETECTOR:	300 °C
FIELD BLANKS:	2 to 10 field blanks per set	-COLUMN:	70 °C for 1 min; 15 °C/min; hold @ 240 °C for 10 min
MEDIA BLANKS:	10 per sample set	CARRIER GAS:	He, 1 to 2 mL/min: makeup flow 29 mL/min
ACCURACY		COLUMN:	capillary, 30 m x 0.32-mm ID, 0.5-µm film, DB-Wax or equivalent
RANGE STUDIED:	not determined	CALIBRATION:	formalin solution spiked on sorbent
BIAS:	not determined	RANGE:	3 to 200 µg per sample [2,3]
OVERALL PRECISION ( $\bar{S}_T$ ):	not determined	ESTIMATED LOD:	1 µg per sample [2]
ACCURACY:	not determined	PRECISION ( $\bar{S}_T$ ):	0.0052 @ 38 to 194 µg per sample [2]

APPLICABILITY: The working range is 0.24 to 16 ppm (0.3 to 20 mg/m<sup>3</sup>) for a 10-L air sample. The method is suitable for the simultaneous determinations of acrolein and formaldehyde.

INTERFERENCES: None have been observed. Acid mists may inactivate the sorbent leading to inefficient collection of formaldehyde. A 15 m x 0.32-mm ID DB-1301 fused silica capillary column can also be used. This column will also separate the acetaldehyde and acrolein oxazolidines. A nitrogen-specific detector (NPD) can be used for improved sensitivity.

OTHER METHODS: OSHA Method 52 is similar but uses slightly larger sampling tubes [2]. This method has improved sample stability and ease of personal sampling compared to NIOSH Methods 2502 (which has been withdrawn), 3500 and 3501. However, Method 3500 (chromotropic acid) is the most sensitive.

**REAGENTS:**

1. Toluene, chromatographic quality.
2. 2-(Hydroxymethyl)piperidine (2-HMP). Recrystallize several times from isooctane until there is one major peak (>95% of area) by GC analysis. Store in desiccator.
3. Formalin solution, 37%\*.
4. Formaldehyde\* stock solution, 1 mg/mL (see Appendix A).
5. Sulfuric acid, 0.02 N.
6. Sodium hydroxide, 0.01 N.
7. Sodium sulfite ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), 1.13 M. Prepare fresh immediately before use.
8. Water, deionized, distilled
9. Hydrogen, prepurified.
10. Air, filtered.
11. Helium, purified
12. Magnesium sulfate.

\* See SPECIAL PRECAUTIONS

**EQUIPMENT:**

1. Sampler: glass tube, 10 cm long, 6-mm OD, 4-mm ID, with flame-sealed ends and plastic caps, containing two sections of 2-(hydroxymethyl)piperidine-coated XAD-2 (see APPENDIX B) (front = 120 mg; back = 60 mg) retained and separated by small plugs of silanized glass wool. Pressure drop across the tube at 0.10 L/min airflow must be less than 760 kPa (5.7 mm Hg). Tubes are commercially available (Supelco ORBO-23; SKC 226-118; or equivalent).
2. Personal sampling pump, 0.01 to 0.10 L/min, with flexible connecting tubing.
3. Gas chromatograph, flame ionization detector, integrator and column (page 2541-1).
4. Ultrasonic water bath.
5. Vials, glass, 2-mL, with PTFE-lined crimp caps.
6. Flasks, volumetric, 10-, 25-, and 50-mL.
7. Pipets, volumetric, 1-, 2-, and 10-mL with pipet bulb.
8. Syringes, 10-mL (readable to 0.1 mL), 25-, and 50-mL.
9. File.
10. Beakers, 50-mL.
11. pH meter.
12. Magnetic stirrer.
13. Burets, 50-mL.
14. Flasks, round-bottomed, 100-mL.
15. Soxhlet extraction apparatus.
16. Vacuum oven.
17. Distillation apparatus.

**SPECIAL PRECAUTIONS:** Formaldehyde is viewed as a potential occupational carcinogen [4,5].

**SAMPLING:**

1. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler in line.
2. Break ends of the sampler immediately before sampling. Attach sampler to personal sampling pump with flexible tubing.
3. Sample at an accurately known flow rate between 0.01 and 0.10 L/min for a total sample size of 1 to 36 L.  
NOTE: Formaldehyde reacts with 2-(hydroxymethyl)piperidine on the sorbent bed during sampling. Sampling rate is limited by the speed of this reaction. Sampling above 0.10 L/min may cause appreciable breakthrough owing to incomplete reaction, possibly invalidating the sample. Further discussion of this reaction is included in Ref. [6].
4. Cap the samplers and pack securely for shipment.

**SAMPLE PREPARATION:**

5. Score each sampler with a file in front of the first sorbent section.
6. Break sampler at score line. Remove and place front glass wool plug and front sorbent section

- in a vial.
7. Transfer back section with remaining glass wool plugs to a second vial.
8. Add 1.0 mL toluene to each vial. Crimp cap tightly onto each vial.  
NOTE: An appropriate internal standard, such as 1 µL/mL dimethylformamide, may be added at this point [3].
9. Agitate vials in an ultrasonic water bath for 60 min.

#### CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

10. Calibrate daily with at least six working standards, in duplicate, covering the range of interest.
  - a. Weigh ten 120-mg portions of the coated sorbent into 4-mL vials with septum caps. If the bulk coated sorbent is not available, remove the front section from ten unused samplers (media blanks).
  - b. Inject aliquots of formaldehyde stock solution into the vials at six different levels and allow to sit overnight at room temperature. Use serial dilutions of the calibration stock solutions to spike the absorbent in the range of interest.
  - c. Desorb (steps 7 through 9) and analyze (steps 12 and 13) with samples and blanks.
  - d. Prepare calibration graph (peak area or peak height) vs. µg of formaldehyde.
11. Analyze three quality control blind spikes and three analyst spikes to ensure that the calibration graph is in control.

#### MEASUREMENT:

12. Set gas chromatograph to manufacturer's recommendations and to conditions given on page 2541-1. Inject 1-µL sample aliquot.  
NOTE: If the amount of oxazolidine in the aliquot exceeds the capacity of the column, dilute the sample with toluene, reanalyze, and apply the appropriate correction factor in calculations.
13. Measure peak area or peak height. For formaldehyde derivative  $t_r = 6.4$  min and for 2-(hydroxymethyl)piperidine  $t_r = 9.4$  min under these conditions.  
NOTE: If necessary, verify the identity of the formaldehyde oxazolidine by comparison of retention time with an authentic sample (see APPENDIX C).

#### CALCULATIONS:

14. Determine the mass, µg (corrected for DE) of oxazolidine derivative found in the sample front ( $W_f$ ) and back ( $W_b$ ) sorbent sections from the calibration graph.  
NOTE: if  $W_b > W_f/10$ , report breakthrough and possible sample loss.
15. Calculate concentration,  $C$  (mg/m<sup>3</sup>), of formaldehyde in the air volume sampled,  $V$  (L):

$$C = \frac{(W_f + W_b)}{V}, \text{ mg/m}^3.$$

NOTE: Because the working standards are prepared on media blanks, no additional blank correction is necessary. Report field blanks as samples.

#### EVALUATION OF METHOD:

This method is similar to OSHA Method 52 [2]; however, the OSHA samplers contained 20% more coated sorbent than the samplers used in this method. In a study by OSHA, 5% breakthrough occurred after 396 min at a flow rate of 0.1 L/min and a test atmosphere concentration of 5.3 mg/m<sup>3</sup>. The relative



humidity in the study was 49% at 24 °C. A storage study was done by NIOSH/MRSB [1] by spiking samplers at two concentrations, 10.0 and 61.0 µg/sample [1]. Three spikes at each concentration were stored at different temperatures for seven days. The storage conditions were as follows:

<u>Sample set no.</u>	<u>Storage temp.</u>	<u>Storage time</u>
1	20 °C	7 days
2 (a)	20 ° and 40 ° C	1 day
(b)	20 ° C	6 days
3	4 ° C (refrigeration)	7 days

The recovery of formaldehyde was essentially 100% for all of the storage temperatures.

#### REFERENCES:

- [1] Williams, K. J. Methods Development Efforts, NIOSH/MRSB, (NIOSH, Unpublished, 1989).
- [2] "OSHA Analytical Methods Manual, method #52", U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, OSHA Analytical Laboratory, Salt Lake City, UT, March, 1985.
- [3] User Check, DataChem Inc., NIOSH Seq. #6701-J (unpublished, June 1, 1989).
- [4] NIOSH testimony on the OSHA Proposed Rules on Air Contaminants, Docket #H-020, August 1, 1988.
- [5] NIOSH/OSHA Occupational Health Guidelines for Occupational Hazards, U. S. Department of Health and Human Services, Publ. (NIOSH) 81-123 (1981), available as GPO Stock #017-033-00337-8 from Superintendent of Documents, Washington, DC 20402.
- [6] Kennedy, E.R., Ashley, K. *Appl. Spectrosc.*, **46**, 266-272 (1992).

#### METHOD WRITTEN BY:

Eugene R. Kennedy, Ph.D., and Karen J. Williams, NIOSH/DPSE.

#### APPENDIX A: PREPARATION AND STANDARDIZATION OF FORMALDEHYDE STOCK SOLUTION (ca. 1 mg/mL)

Dilute 2.7 mL 37% aqueous formalin solution to 1 L with distilled, deionized water. This solution is stable for at least three months. Standardize by placing 5.0 mL of freshly prepared 1.13 M sodium sulfite solution in a 50-mL beaker and stir magnetically. Adjust pH to between 8.5 and 10 with base or acid. Record the pH. Add 10.0 mL formaldehyde stock solution. The pH should now be greater than 11. Titrate the solution back to its original pH with 0.02 N sulfuric acid (1 mL acid = 0.600 mg HCHO; about 17 mL acid needed). If the endpoint pH is overrun, back-titrate to the endpoint with 0.01 N sodium hydroxide. Calculate the concentration,  $C_s$  (mg/mL), of the formaldehyde stock solution:

$$C_s = \frac{30.0 (N_a \cdot V_a - N_b \cdot V_b)}{V_s}$$

where 30.0 = 30.0 g/equivalent of formaldehyde  
 $N_a$  = normality of sulfuric acid (0.02 N)  
 $V_a$  = volume of sulfuric acid (mL) used for titration  
 $N_b$  = normality of NaOH (0.01 N)  
 $V_b$  = volume of NaOH (mL) used for back-titration  
 $V_s$  = volume of formaldehyde stock solution (10.0 mL)

**APPENDIX B: SORBENT PREPARATION (optional if commercially-prepared tubes are used)**

Extract 4 h in Soxhlet with 50/50 (v/v) acetone/methylene chloride. Replace with fresh solvent and repeat. Vacuum dry overnight. Add 1 g purified 2-(hydroxymethyl)piperidine in 50 mL toluene for each 9 g extracted XAD-2 sorbent. Allow this mixture to stand 1 h with occasional swirling. Remove the solvent by rotary evaporation at 37 °C and dry at 130 kPa (1 mm Hg) at ambient temperature for ca. 1 h. To determine the amount of background for each batch, desorb several 120-mg portions of the coated sorbent with toluene and analyze (steps 12 and 13). No blank peak is expected for any aldehydes other than formaldehyde and possibly acetaldehyde.

**APPENDIX C: SYNTHESIS OF FORMALDEHYDE OXAZOLIDINE**

Place a solution of purified 2-(hydroxymethyl)piperidine (0.57 g, 5 mmol) in 10 mL of toluene in a 50-mL round-bottomed flask. Use several 2-mL portions of toluene to rinse residual 2-(hydroxymethyl)piperidine from the container used for weighing. Add magnesium sulfate (2.5 g) to the round-bottomed flask to dry the aldehyde solution as it is added and to remove the water which forms during the reaction. Add a solution of 1 mL 37% aqueous formaldehyde in 10 mL toluene to the 2-(hydroxymethyl)piperidine solution dropwise with stirring over 1 h. Stir the solution overnight, then filter to remove the magnesium sulfate. Remove the toluene from the solution at reduced pressure by rotary evaporation.

**ANEXO II**  
**Método NIOSH 3500**

# FORMALDEHYDE by VIS

3500



MW: 30.03

CAS: 50-00-0

RTECS: LP8925000

METHOD: 3500, Issue 2

EVALUATION: FULL

Issue 1: 15 May 1989

Issue 2: 15 August 1994

OSHA : 0.75 ppm; 2ppm STEL  
NIOSH: 0.016 ppm; C 0.1 ppm; carcinogen;  
ACGIH: C 0.3 ppm; suspected human carcinogen  
(1 ppm = 1.23 mg/m<sup>3</sup> @ NTP)

PROPERTIES: gas; BP -19.5 °C; vapor density 1.067 (air = 1.00); explosive range 7 to 73 % v/v in air

SYNONYMS: methanal; formalin (aqueous 30 to 60 % w/v HCHO); methylene oxide

SAMPLING		MEASUREMENT	
SAMPLER:	FILTER + IMPINGERS (1-µm PTFE membrane and 2 impingers, each with 20 mL 1% sodium bisulfite solution)	TECHNIQUE:	V I S I B L E   A B S O R P T I O N SPECTROMETRY
FLOW RATE:	0.2 to 1 L/min	ANALYTE:	formaldehyde
VOL-MIN:	1 L @ 3 ppm	SAMPLE WORKUP:	note liquid volume; remove 4-mL aliquot
-MAX:	100 L	COLOR DEVELOPMENT:	chromotropic acid + sulfuric acid; absorbance @ 580 nm
SHIPMENT:	transfer samples to low-density polyethylene bottles before shipping	CALIBRATION:	standard solutions of formaldehyde in distilled water
SAMPLE STABILITY:	30 day @ 25 °C [1]	RANGE:	2 to 40 µg per sample [1,2]
BLANKS:	2 to 10 field blanks per set	ESTIMATED LOD:	0.5 µg per sample [2,3]
ACCURACY		PRECISION ( $\bar{S}_p$ ):	0.03 @ 1 to 20 µg per sample [3]
RANGE STUDIED:	1.25 to 7.5 mg/m <sup>3</sup> [2] (80-L samples)		
BIAS:	none identified		
OVERALL PRECISION ( $\bar{S}_{rT}$ ):	0.09 [2]		
ACCURACY:	± 18%		

**APPLICABILITY:** The working range is 0.02 to 4 ppm (0.025 to 4.6 mg/m<sup>3</sup>) for an 80-L air sample. This is the most sensitive formaldehyde method in the NIOSH Manual of Analytical Methods and is able to measure ceiling levels as low as 0.1 ppm (1 5-L sample). It is best suited for the determination of formaldehyde in area samples.

**INTERFERENCES:** Oxidizable organic materials may give a positive interference [2]. Phenol to formaldehyde ratios as low as 0.3 produce a - 15% bias [4]. A method for the removal of the phenol interference has been reported by Hakes et. al. [5]. Ethanol and higher M.W. alcohols, olefins, aromatic hydrocarbons [6] and cyclohexanone also produce small negative interferences [7]. Little interference is seen from other aldehydes [7].

**OTHER METHODS:** This method was originally adapted from the Intersociety Committee [8] and designated P&CAM 125 [4]. For personal samples or where interferences to this method are present, use Method 2541. Ref [9] is a recent review of formaldehyde methods.

#### REAGENTS:

1. Chromotropic acid, 1%. Dilute 0.10 g 4,5-dihydroxy-2,7-naphthalene disulfonic acid disodium salt to 10 mL with distilled water. Filter. Store in brown bottle. Prepare fresh weekly.
2. Sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ), 96%.\*
3. Formaldehyde stock solution, 1 mg/mL (See APPENDIX).
4. Formalin solution, 37%.\*
5. Distilled, deionized water.
6. Sulfuric acid, 0.02  $N$ , aqueous.
7. Sodium hydroxide, 0.01  $N$ , aqueous.
8. Sodium sulfite, 1.13  $M$ , aqueous. Prepare fresh immediately before use.
9. Sodium bisulfite ( $NaHSO_3$ ), 1%. Dissolve 1 g in distilled water. Dilute to 100 mL. Prepare fresh weekly.
10. Magnesium sulfate.

\* See SPECIAL PRECAUTIONS.

#### EQUIPMENT:

1. Sampler: 37-mm filter cassette with 37-mm polytetrafluoroethylene (PTFE) membrane filter, 1- to 3- $\mu m$  pore size supported by stainless steel screen or O-ring followed by two midjet impingers; inert, flexible tubing for cassette-to-impinger connection.
2. Personal sampling pump, 0.2 to 1 L/min, with flexible connecting tubing.
3. Bottles, screw-cap low-density polyethylene (Nalgene CPE or equivalent), 50-mL.  
NOTE: Do not use bottles with "polycone" liners (see step 4)
4. Spectrophotometer, visible, 580 nm, with cuvettes, 1-cm.
5. Volumetric pipettes, 0.1-, 0.5-, 1-, 4-, 5-, 6- and 10-mL; 1-, 2- and 5-m, graduated in 0.1-mL units, with pipet bulb.
6. Volumetric flasks, 10- and 100-mL, and 1-L.
7. Burets, 50-mL.
8. pH meter.
9. Flasks, glass-stoppered, 25-mL.
10. Graduated cylinder, 25-mL.
11. Waterbath at 95 °C.
12. Magnetic stirrer.
13. Beaker, 50-mL.

**SPECIAL PRECAUTIONS:** Sulfuric acid is extremely corrosive; handle while wearing acid-resistant gloves, apron and full face shield with goggles. Formaldehyde is viewed as a potential carcinogen [9,10] and should be handled in a hood.

#### SAMPLING:

1. Calibrate each personal sampling pump with a representative sampler in line.
2. Fill the two impingers for each sample with 20 mL, 1% sodium bisulfite solution. Make cassette-to-impinger and impinger-to-sampling pump connections with flexible, inert tubing. Insert a second filter/cassette assembly in line between the sampler and sampling pump to trap any liquid which might splash over from the impingers during sampling.  
NOTE: The PTFE filter is necessary when sampling is to be conducted in a dusty environment, which could contribute either a positive or negative interferences to the method [1]. The use of dual impingers in series is recommended to ensure efficient collection of formaldehyde.
3. Sample at an accurately known flow rate between 0.2 and 1 L/min for a total sample size of 1 to 100 L.
4. Transfer the contents of the impingers to separate low-density polyethylene bottles for shipping.  
Note: Sample contamination may occur if glass scintillation vials with "polycone" plastic lined caps are used [11].

#### SAMPLE PREPARATION:

5. Transfer each impinger solution to a clean, dry 25-mL graduated cylinder. Record volume of solution from front impinger,  $V_f$  (mL) and backup impinger,  $V_b$  (mL).

6. Pipette 4-mL aliquots from each sample solution into 25-mL glass-stoppered flasks.  
NOTE: Adjust aliquot size to contain between 2 and 20 µg formaldehyde for optimum absorbance. The calibration graph between becomes non-linear above an absorbance of ca. 1.0. A.U.
7. Add 0.1 mL 1% chromotropic acid to the flask and mix.  
NOTE: This amount of chromotropic acid can react with ca. 40 µg of formaldehyde. Due to this fact, the range of the calibration curve should not exceed 36 µg (90% of theoretical).
8. Add 6 mL conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> slowly to the flask. Replace the stopper gently. Gently swirl the solution to mix.  
CAUTION: Mixing of the sample solution with concentrated sulfuric acid is highly exothermic.
9. Heat the solution to 95 °C for 15 min. Allow the solution to cool at room temperature for 2 to 3 hours.  
NOTE: Use caution due to the corrosive nature of hot sulfuric acid and the possible pressure buildup within the flask.

#### CALIBRATION AND QUALITY CONTROL:

10. Calibrate daily with at least six working standards.
  - a. Prepare a calibration stock solution by dilution of 1 mL of 1 mg/mL formaldehyde stock solution to 100 mL 1% sodium bisulfite solution.
  - b. Pipet, e.g., 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, and 2.0 mL calibration stock solution into 25-mL glass-stoppered flasks.
  - c. Add 1% sodium bisulfite solution to bring the volume of each working standard to 4 mL. Also prepare a reagent blank.
  - d. Analyze together with samples and blanks (steps 5 through 9, and steps 11 and 12).
  - e. Prepare calibration graph (absorbance vs. µg formaldehyde/mL).

#### MEASUREMENT:

11. Set spectrophotometer according to manufacturer's recommendations and to conditions given on p. 3500-1. Fill 1-cm cuvette with sample.
12. Read sample absorbance at 580 nm.  
NOTE: If absorbance is greater than the highest standard, take a smaller aliquot of the remaining unreacted sample solution, dilute to 4 mL with 1% sodium bisulfite solution, and analyze. (Steps 11 and 12). For optimum results, all samples containing over 20 µg formaldehyde should be diluted and reanalyzed.

#### CALCULATIONS:

13. Calculate the mass, µg, of formaldehyde in each front impinger (M<sub>f</sub>), back impinger (M<sub>b</sub>) and average reagent blank (M<sub>g</sub>). Use the appropriate aliquot factor (e.g., 4 mL aliquot from step 6) and the total sample volume noted in step 5.  
NOTE: Discard the sample if the mass found in the backup impinger exceeds 1/3 the mass found in the front impinger. Collection efficiency is ca. 95% for each impinger [15], but may be reduced due to chipped or mismatched impinger parts, or by carryover from the front impinger.
14. Calculate the concentration, C, of formaldehyde in the air volume sampled, V (L):

$$C = \frac{M_f + M_b - 2M_g}{V}, \text{ mg/m}^3.$$

#### EVALUATION OF METHOD:

The method was checked for reproducibility by having three different analysts in three different laboratories analyze standard samples containing between 1 and 20 µg formaldehyde. The results agreed within ± 5% [8]. This method was independently compared with the 2,4,-dinitrophenylhydrazine-coated silica gel method of Beasley et al. [12] over the range of 0.8 to 2.2 ppm formaldehyde and was found to give approximately 25% lower concentrations.

In another study comparing this method and the method of Beasley, et al., all three methods were found to be statistically equivalent for loadings from 8.2 to 22.4 µg per sample [13]. The method of Septon and Ku [14] was compared with this method. The slope of the correlation line was 1.09. The concentration range of the comparison was not given.

In a study comparing the pararosaniline method [4] and NIOSH P&CAM 125 over the range of 0.021 to 0.5 ppm, the NIOSH method gave better collection efficiency and accuracy [15]. Precision for both methods was equivalent.

#### REFERENCES:

- [1] Kennedy, E. R., D. L. Smith, and C. L. Geraci, Jr. "Field Evaluation of Sampling and Analytical Methods for Formaldehyde," Chapter 11 in Advances in Chemistry Series No. 210 (Formaldehyde: Analytical Chemistry and Toxicology), American Chemical Society (Washington, D.C., 1985).
- [2] Formaldehyde, NIOSH Method No. S327 Failure Report, NIOSH/OSHA Standards Completion Program Contract Report, Cincinnati, Ohio (1976).
- [3] User check, Southern Research Institute, NIOSH Sequence #3500 (unpublished, November 10, 1983).
- [4] Miksch, R. R., D. W. Anthon, L. Z. Fanning, C. D. Hollowell, K. Revzan and J. G. Glanville, Anal. Chem., **53**, 2118-2123 (1981).
- [5] Hakes, D.C., C. D. Johnson and J. S. Marheva. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., **45**, 274-277 (1984).
- [6] Sleva, S. F. Determination of Formaldehyde: Chromotropic Acid Method, PHS Publication 999-AP-11, H-1 (1965).
- [7] NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd ed., V.1, P&CAM 125, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Publ. (NIOSH) 77-157-A (1977).
- [8] "Methods of Air Sampling and Analysis," Method 111, Intersociety Committee for a Manual of Methods of Air Sampling and Analysis, American Public Health Association, Washington, DC, 194-198 (1972) and M.Katz, ed., "Methods of Air Sampling and Analysis," 2nd ed., Intersociety Committee on Methods of Air Sampling and Analysis, American Public Health Association, Washington, DC, Method 116, 303-307 (1977).
- [9] Kennedy, E. R., A. W. Teass, and Y. T. Gagnon. Industrial Hygiene Sampling and Analytical Methods for Formaldehyde. ACS Advances in Chemistry Series 210: Analyt. Chem. Toxicol. (1985).
- [10] NIOSH/OSHA Occupational Health Guidelines for Occupational Hazards, U.S. Department of Health and Human Services, Publ. (NIOSH) 81-123 (1981), available as GPO Stock #017-033-00337-8 from Superintendent of Documents, Washington, DC 20402.
- [11] Dollberg, D. D., D. L. Smith and D. G. Tharr. App. Ind. Hyg., **1**, F44-F46 (1986).
- [12] Beasley, R. K., C. E. Hoffmann, M. L. Reuppel and J. W. Worley. Anal. Chem., **52**, 1110-1114 (1980).
- [13] Kennedy, E. R., D. L. Smith, M. Bolyard and R. Homung. Further Adventures in Formaldehyde Sampling and Analysis, Poster Session at 1982 American Industrial Hygiene Conference, Cincinnati, OH (1982).
- [14] Septon J. C. and J. C. Ku. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., **43**, 845-852 (1982).
- [15] Petreas, M., S. Twiss, D. Pon and M. Imada. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., **47**, 276-280 (1986).

**METHOD WRITTEN BY:**

Eugene R. Kennedy, Ph.D., NIOSH/DPSE.

**APPENDIX:**

**PREPARATION AND STANDARDIZATION OF FORMALDEHYDE STOCK SOLUTION (ca. 6.6 mg/mL)**

Dilute 2.7 mL 37% formalin solution to 1 L with distilled, deionized water. This solution is stable for at least three months. Standardize by placing 5.0 mL of freshly prepared 1.13 M sodium sulfite solution in a 50-mL beaker and stir magnetically. Adjust pH to between 8.5 and 10 with base or acid. Record the pH. Add 10.0 mL formaldehyde solution. The pH should now be about 11. Titrate the solution back to its original pH with 0.02 N sulfuric acid (1 mL acid = 0.600 mg HCHO; about 17 mL acid needed). If the endpoint pH is overrun, back-titrate to the endpoint with 0.01 N sulfuric hydroxide. Calculate the concentration,  $C_s$  (mg/mL), of the formaldehyde stock solution:

$$C_s = \frac{30.0 (N_a \cdot V_a - N_b \cdot V_b)}{V_s}$$

where: 30.0 = 30.0 g/equivalent of formaldehyde

$N_a$  = normality of sulfuric acid (0.02 N)

$V_a$  = volume of sulfuric acid (mL) used for titration

$N_b$  = normality of NaOH (0.01 N)

$V_b$  = volume of NaOH (mL) for back-titration

$V_s$  = volume of formaldehyde stock solution (10.0 mL).